

Diploma Thesis

# **Recommendation for the implementation of Building Information Modeling into the academic curriculum of civil engineering**

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieurin  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

DIPLOMARBEIT

## **Empfehlung für die Implementierung von Building Information Modeling im Studium der Bauingenieurwissenschaften**

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

von

**Ursula Mariacher**

Matr.Nr.: 01017391

unter der Anleitung von

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

**Univ.Ass.<sup>in</sup> Dipl.-Ing.<sup>in</sup> Melanie Piskernik**

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

Wien, im Juni 2018

---

# DANKSAGUNG

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

\*\*\*

Univ. Ass.<sup>in</sup> Dipl.-Ing.<sup>in</sup> Melanie Piskernik

\*\*\*

Associate Prof.<sup>in</sup> Dipl.-Ing.<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup>techn. Iva Kovacic

\*\*\*

Mama und Papa

Sarah, Evelyn und Christina Mariacher

\*\*\*

Rafael Summer

Annabell Fleisch

\*\*\*

für ihre Unterstützung, ihre wertvollen Ratschläge,  
ihre Geduld und ihre Motivation.

## KURZFASSUNG

**Zweck** – In der österreichischen Bauwirtschaft nimmt die Anzahl der Bauunternehmen, Planer, Auftraggeber und Ingenieurkonsulenten, die Building Information Modeling verwenden, stetig zu. Dementsprechend entsteht und wächst der Bedarf an Fachkräften, die routiniert und erfahren im Umgang mit dieser Methode sind. Um diese steigende Nachfrage an Sachkundigen zu decken, ist es notwendig, dass Universitäten und Fachhochschulen in den Vertiefungsrichtungen des Bauingenieurstudiums Building Information Modeling in ihre Lehrpläne integrieren. In dieser Diplomarbeit werden verschiedene Methoden analysiert, wie und in welchem Umfang Building Information Modeling in Lehrpläne des Bauingenieurwesens integriert werden kann und welche Lehr- und Lernziele bei der Ausbildung im Vordergrund stehen. Daraus ergeben sich zentrale Aspekte, die bei einem Integrationsprozess zu berücksichtigen sind. Das primäre Ziel ist, aus den im Rahmen dieser Forschungsarbeit gewonnenen Erkenntnissen, Handlungsempfehlungen abzuleiten, um Building Information Modeling in den Lehrplan der Technischen Universität Wien zu integrieren. In diesem Zusammenhang werden Lehrveranstaltungen beschrieben und zugehörige Lernziele definiert.

**Methode** – Basis für die Ausarbeitung dieser wissenschaftlichen Arbeit bildet eine umfassende Literaturrecherche. Anhand dieser werden zunächst die theoretischen Grundlagen über Building Information Modeling erläutert und in weiterer Folge verschiedene Implementierungsstrategien und Ausbildungsmethoden an unterschiedlichen internationalen Universitäten beschrieben und analysiert. Aus der literarischen Recherche werden bedeutende Erkenntnisse und relevante Ansätze für das Kernthema dieser Diplomarbeit, die Ausarbeitung von konkreten Handlungsempfehlungen für die Technische Universität Wien, gewonnen.

**Erkenntnisse** – Basierend auf der Literaturrecherche werden fünf Kernkomponenten identifiziert, die bei der Umstrukturierung eines Lehrplans zu berücksichtigen sind. Anschließend wird ein umfangreiches Konzept erstellt, wie Building Information Modeling in das Bauingenieurstudium an der Technischen Universität Wien integriert werden kann. Dieses Konzept enthält eine Eingliederungsstrategie und beschreibt die einzelnen Lehrveranstaltungen mit den zugehörigen Lernzielen. Zum einen werden neue Lehrveranstaltungen mit dem Themenschwerpunkt Building Information Modeling entwickelt, zum anderen werden auch Lehrinhalte bestehender Kurse überarbeitet und durch einzelne Aspekte des Building Information Modeling ergänzt. Die Modifikationen im Lehrplan betreffen hauptsächlich Kurse im Masterstudiengang.

**Abgrenzung** – Da die Anwendung von Building Information Modeling in der Bauwirtschaft die Aufgabenbereiche der Architektur wesentlich beeinflusst, ist diese Methode in die Lehrpläne des Architekturstudiums einzugliedern. Die Ausarbeitung dieser wissenschaftlichen Arbeit beschränkt sich jedoch lediglich auf die Einbettung von Building Information Modeling in die Studienpläne der Studienrichtungen des Bauingenieurwesens.

**Schlüsselworte** – Building Information Modeling, BIM, Bauingenieurwesen, Ausbildung

## ABSTRACT

**Purpose** – The number of construction companies, planner and clients using Building Information Modeling in Austria is constantly increasing. Accordingly, the industry's demand for professionals, who have experience working with this technology and techniques grows constantly. In response to supply this growing demand for specialists, it is necessary for universities and advanced technical colleges teaching in the building sector that they introduce Building Information Modeling into their teaching programmes. This diploma thesis analyses different methodologies how and to what extent Building Information Modeling can be integrated into civil engineering programmes and defines main teaching and learning objectives. Based on the analysis the key aspects that need to be considered before implementation, can be identified. This diploma thesis creates recommendations on how to integrate Building Information Modeling into the civil engineering curriculum at the Technical University of Vienna. In this context, the content of different lectures including Building Information Modeling are displayed and their learning outcomes are defined.

**Methodology** – The foundation of this diploma thesis is a systematic and comprehensive literature research. The theoretical basics of Building Information Modeling are explained, in addition, implementation strategies and educational methods of different international universities are described and analysed. Based on this research important information and relevant approaches are identified that address the key issues of this diploma thesis.

**Findings** – Based on a comprehensive literature research five key components can be identified that need to be considered while restructuring a curriculum. Subsequently, a concept is presented that includes a recommendation on how Building Information Modeling can be implemented in the civil engineering curriculum at the Technical University of Vienna. This concept includes an implementation strategy and describes the learning outcomes of the different courses. Independent courses are developed with an exclusive focus on Building Information Modeling. In addition, the course content of some existing modules is modified to integrate particular aspects of Building Information Modeling that are related to the subject itself. The recommended modifications in the curriculum mainly concern courses in the master's programme of civil engineering.

**Research implications** – Since the use of Building Information Modeling in the construction industry has a strong impact on architecture, it is necessary to integrate this method into architectural teaching programmes at universities. The recommendations presented in this diploma thesis are limited to the implementation of Building Information Modeling across the curriculum of civil engineering programmes.

**Keywords** – Building Information Modeling, BIM, civil engineering, education

# INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG.....	I
KURZFASSUNG .....	II
ABSTRACT .....	III
INHALTSVERZEICHNIS .....	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	VI
1 EINLEITUNG.....	1
1.1 Problemstellung und Motivation .....	1
1.2 Forschungsfrage und Zielsetzung .....	2
1.3 Forschungsmethode .....	2
1.4 Aufbau der Diplomarbeit.....	3
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	5
2.1 Digitalisierung im Bauwesen .....	5
2.2 Building Information Modeling .....	8
2.2.1 Chancen durch BIM.....	11
2.2.2 Herausforderungen durch BIM.....	15
2.3 Zwischenresümee .....	18
3 DERZEITIGER STAND DER BIM-LEHRE.....	19
3.1 BIM in der Ausbildung .....	19
3.2 Österreich .....	20
3.2.1 Universitäten .....	21
3.2.2 Fachhochschulen .....	24
3.2.3 Höhere Technische Lehranstalten .....	26
3.3 Deutschland .....	26
3.3.1 Bauhaus-Universität Weimar .....	28
3.3.2 Technische Universität Darmstadt .....	29
3.4 Schweiz.....	31
3.4.1 Bachelorstudium an Fachhochschulen .....	31
3.4.2 Masterstudium an Fachhochschulen .....	31
3.5 Vereinigtes Königreich .....	32
3.5.1 Universität Coventry.....	33
3.5.2 Universität Loughborough .....	37
3.6 Schweden .....	41
3.7 Finnland .....	43
3.8 Dänemark .....	43
3.9 Niederlande.....	44
3.10 Amerika.....	46
3.10.1 Colorado State University .....	47
3.10.2 Illinois Institute of Technology .....	49
3.10.3 University of Texas at Austin.....	53
3.10.4 Stanford University.....	56
3.11 Neuseeland.....	59
3.12 China .....	63
3.13 Zwischenresümee .....	64

4	INTEGRATION VON BIM IN DIE LEHRE .....	77
4.1	Ziele der BIM-Ausbildung .....	77
4.2	Herausforderungen bei der Integration von BIM in den Lehrplan.....	80
4.3	Integrationsstrategien von BIM.....	82
4.3.1	Unabhängige BIM-Kurse .....	83
4.3.2	Integrierte BIM-Kurse .....	83
4.3.3	Fächerübergreifende Kurse zwischen verschiedenen Studiengängen.....	84
4.3.4	Zentrales BIM-Projekt.....	85
4.3.5	Konzept zur Eingliederung von BIM.....	85
5	HANDLUNGSEMPFEHLUNG FÜR ÖSTERREICH .....	88
5.1	Höhere Technische Lehranstalten.....	88
5.2	Fachhochschulen .....	89
5.3	Universitäten .....	91
5.4	Zwischenresümee .....	93
6	BIM-EMPFEHLUNGEN FÜR DAS BAUINGENIEURSTUDIUM DER TU WIEN.....	95
6.1	Erste Implementierungsphase.....	96
6.2	Zweite Implementierungsphase.....	102
6.3	Dritte Implementierungsphase.....	104
7	ZUSAMMENFASSUNG .....	108
	LITERATURVERZEICHNIS .....	110
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	117
	TABELLENVERZEICHNIS.....	117
	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....	118

*Im Sinne einer besseren Lesbarkeit dieser wissenschaftlichen Forschungsarbeit wurden entweder die männliche oder weibliche Form von personenbezogenen Hauptwörtern gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts. Frauen und Männer mögen sich von den Inhalten dieser Masterarbeit gleichermaßen angesprochen fühlen.*

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

BAF	BIM Academic Forum
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
ECTS	European Credit Transfer System
FH	Fachhochschule
GIS	Geographic Information System
HTL	Höhere Technische Lehranstalt
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IT	Informationstechnik
LVA	Lehrveranstaltung
MSE	Master of Science in Engineering
PC	Personal Computer
PIP	Projekt-Implementierungs-Plan
TU	Technische Universität
UE	Übung

# 1 EINLEITUNG

Dieses erste Kapitel enthüllt wichtige Hintergrundinformationen über die vorliegende Diplomarbeit und führt den Leser auf das Themengebiet hin. In der Einleitung wird zunächst die Problemstellung beschrieben und die zu beantwortenden Forschungsfragen werden vorgestellt. In diesem Zusammenhang wird das Ziel dieser Diplomarbeit erläutert und die für die Ausarbeitung der Forschungsfrage angewandten Forschungsmethoden beschrieben. Der abschließende Teil der Einleitung umfasst eine inhaltliche Übersicht der einzelnen Kapitel.

## 1.1 Problemstellung und Motivation

In den vergangenen Jahren hat sich die Arbeitsmethode Building Information Modeling (BIM) in der Bauwirtschaft in verschiedenen Ländern etabliert. Auch in der österreichischen Bauwirtschaft gewinnt der Einsatz von BIM einen immer höheren Stellenwert. Eine der Herausforderungen, mit der die Baubranche bei der Integration und umfassenden Anwendung der neuen Methode konfrontiert ist, ist der Mangel an Fachkräften. Um die Bauwirtschaft bei den Entwicklungen in diesem Bereich zu unterstützen und der Nachfrage an ausgebildetem Fachpersonal gerecht zu werden, ist es erforderlich, dass höhere Bildungseinrichtungen mit den Schwerpunkten Architektur und Bauwesen eine Ausbildung im Bereich BIM anbieten. Mit der zunehmenden Verbreitung von BIM im Bauwesen verändern sich manche Berufsbilder und neue Aufgabenbereiche entstehen. Um den Absolventen eines Bauingenieurstudiums eine breitgefächerte Beschäftigungsfähigkeit und Qualifikation in der Bauwirtschaft zu gewährleisten, ist es notwendig, BIM in das Curriculum von bauwerkspezifischen Studienrichtungen zu integrieren. Die Integration dieser Arbeitsweise in ein Curriculum stellt für zahlreiche Bildungsinstitutionen eine große Herausforderung dar. Insbesondere wegen der Komplexität des Themas und weil in den bestehenden Lehrplänen kaum Kapazitäten vorhanden sind, um ein neues umfangreiches Themengebiet, wie es Building Information Modeling ist, zu integrieren.

An der Technischen Universität Wien gab es bis zum Ende des Sommersemesters 2017 nur begrenzte Möglichkeiten sich im Bereich BIM aus- und weiterzubilden. In einem freien Wahlfach im Masterstudium wurde die Arbeitsweise von Building Information Modeling gelehrt. Zudem konnte Building Information Modeling als Forschungsschwerpunkt bei Projekt-, Bachelor- und Diplomarbeiten ausgewählt werden. Da die Relevanz dieser Arbeitsweise in der österreichischen Baubranche stetig zunimmt und an Bedeutung gewinnt, bin ich davon überzeugt, dass Building Information Modeling ein fixer Bestandteil der universitären Lehre im Bauingenieurstudium sein soll. Building Information Modeling in den Lehrplan der Technischen Universität Wien zu integrieren, um den Studierenden des Bauingenieurwesens eine fundierte Ausbildung in diesem Bereich zu ermöglichen und dadurch das Qualifikationsprofil eines Absolventen für das spätere Berufsleben zu erweitern, war eine fundamentale Motivation diese Arbeit zu erstellen.

Während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit wurden an der TU Wien bereits einige grundlegende Veränderungen und Umgestaltungen im Lehrplan des Masterstudiums Bauingenieurwesen unternommen und Building Information Modeling in das Curriculum integriert. Diese Modifikationen werden in dieser Diplomarbeit berücksichtigt und erläutert.

## 1.2 Forschungsfrage und Zielsetzung

Aus der angeführten Problemstellung lässt sich folgende primäre Forschungsfrage für diese wissenschaftliche Arbeit ableiten:

*„Wie kann Building Information Modeling in den Lehrplan des Studiengangs Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Wien integriert und eingebettet werden?“*

Für die ausführliche Beantwortung dieser zentralen Frage wurde folgende Unterfrage formuliert: „Welche generellen Methoden gibt es, um Building Information Modeling in den Lehrplan von Universitäten zu integrieren?“

Ableitend von diesen beiden Forschungsfragen, ist das Ziel dieser Diplomarbeit, zu analysieren, welche Möglichkeiten und Strategien es gibt Building Information Modeling in den Lehrplan zu integrieren. Zu diesem Thema gibt es zahlreiche Erfahrungsberichte, in denen unterschiedliche Implementierungsstrategien, die an Universitäten entwickelt und verfolgt wurden, beschrieben werden. Aus den Berichten werden wichtige Erkenntnisse über BIM-spezifische Lehrveranstaltungen mit jeweiligen Lernzielen und Ausbildungsmethoden gewonnen. Anhand dieser Erkenntnisse können allgemeine Ziele definiert werden, die bei einer Ausbildung im Bereich BIM angestrebt werden sollten. In weiterer Folge wird ein Vorschlag entwickelt, wie BIM in den Lehrplan des Bauingenieurstudiums der Technischen Universität Wien integriert werden kann und welche Lehrziele dabei im Vordergrund stehen.

## 1.3 Forschungsmethode

Für die Ausarbeitung wurde zu Beginn eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um die theoretischen Grundlagen und zentralen Begrifflichkeiten, die für das Verständnis dieser wissenschaftlichen Arbeit erforderlich sind, zu erläutern.

In Kapitel 3, in welchem die Lehre von Building Information Modeling an österreichischen Bildungseinrichtungen untersucht wird, wurden die Websites aller Fachhochschulen und Universitäten im Fachbereich Bauwesen analysiert, um in deren Lehrpläne Kurse zu identifizieren, die Aspekte von Building Information Modeling enthalten. Bei dieser Vorgehensweise ist es jedoch schwierig Kurse ausfindig zu machen, in denen BIM nicht das zentrale Thema darstellt, sondern als integrierter Aspekt aufgegriffen wird.

Der zweite Teil des dritten Kapitels basiert auf Artikeln, die in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht wurden, oder auf Berichten von Universitäten, die von Professoren und wissenschaftlichen Universitätsmitarbeitern verfasst wurden und nicht in einem Verlag veröffentlicht wurden. Diese Schriften wurden analysiert, um die jeweiligen persönlichen Erfahrungen von Universitäten, die mit der Einbettung von Building Information Modeling in deren Lehrplan gemacht wurden, zu untersuchen und zu vergleichen.

Mit der Literaturrecherche in Kapitel 3 konnten wichtige Erkenntnisse, themenrelevante Ideen und Ansätze für den abschließenden Teil der Diplomarbeit gewonnen werden. Basierend auf der literaturgestützten Forschung und durch Erkenntnisse, die bei der Ausarbeitung eines praktischen

Übungsprojektes gewonnen wurden, konnte ein Vorschlag und eine konkrete Handlungsempfehlung für die Technische Universität Wien ausgearbeitet werden.

### **1.4 Aufbau der Diplomarbeit**

Im einleitenden ersten Kapitel werden die Problemstellung dieser Diplomarbeit erläutert und die daraus abgeleiteten Forschungsfragen beschrieben. Das Ziel der wissenschaftlichen Arbeit wird vorgestellt und die Relevanz des Themas für die universitäre Lehre aufgezeigt. Abschließend wird die wissenschaftliche Forschungsmethodik geschildert.

Im zweiten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Digitalisierung im Bauwesen und des damit in Zusammenhang stehenden Building Information Modeling erläutert. Der Leser erhält einen fundierten Einblick in die Materie, dessen Verständnis die Voraussetzung für die Nachvollziehbarkeit der weiterführenden Arbeit bildet. Es werden der Begriff Building Information Modeling definiert und in weiterer Folge die Vor- und Nachteile dieser Arbeitsweise ausführlich erläutert.

Im dritten Kapitel wird zunächst die Bedeutung und Relevanz von Building Information Modeling in der Ausbildung aufgezeigt und anschließend das Angebot an BIM-spezifischen Kursen an österreichischen Fachhochschulen und Universitäten beschrieben. Im Hauptteil dieses Kapitels wird der Implementierungsprozess von Building Information Modeling in den Lehrplan verschiedener internationaler Universitäten geschildert und die jeweiligen Lehrinhalte mit den zugehörigen Lernzielen und Ausbildungsstrategien aufgezeigt. Die Erfahrungen dieser Universitäten tragen wesentlich zur Ausarbeitung der weiteren Kapitel und insbesondere des sechsten Kapitels, in welchem eine konkrete Handlungsempfehlung für die Implementierung von BIM in den Lehrplan der TU Wien ausgearbeitet wird, bei.

Im vierten Kapitel erfolgt eine ausführliche Beschreibung möglicher Lehr- und Ausbildungsziele. Zudem wird verdeutlicht, mit welchen Herausforderungen Bildungsinstitutionen bei der Integration von Building Information Modeling in den Lehrplan konfrontiert werden. Anschließend werden vier Strategien vorgestellt, wie BIM integriert werden kann. Schließlich wurde ein fünfstufiges Konzept erarbeitet, welches die wichtigsten Punkte aufzählt, die bei der Einbettung von BIM in den Lehrplan zu berücksichtigen sind.

Das fünfte Kapitel umfasst eine generelle Handlungsempfehlung für die Lehre von Building Information Modeling an den drei Bildungsinstitutionen Höhere Technische Lehranstalten (HTL), Fachhochschulen und Universitäten in Österreich. Es wird klar abgegrenzt, welche Ausbildungsschwerpunkte die drei Bildungsinstitutionen übernehmen sollten. Die jeweiligen Lernziele werden exemplarisch dargestellt.

Im sechsten Kapitel gilt es die Forschungsfrage zu beantworten. Zu Beginn wird die derzeitige Situation der Lehre von Building Information Modeling an der Technischen Universität Wien beschrieben, indem die Lehrveranstaltungen mit den zugehörigen Lehrinhalten vorgestellt werden. Der Hauptteil dieses Kapitels umfasst eine Empfehlung, BIM in den Lehrplan der Technischen Universität Wien zu integrieren. Es wird eine Strategie für die Überarbeitung des Curriculums beschrieben. Zudem werden die Lehrinhalte aller Lehrveranstaltungen, die im Zuge des

Veränderungsprozesses neu zu entwickeln oder überarbeiten sind, ausführlich erläutert. Das Resultat dieses Kapitels ist ein Vorschlag, wie die BIM-spezifische Ausbildung an der Technischen Universität Wien aufgebaut werden kann.

Im abschließenden siebten Kapitel werden die Forschungsergebnisse zusammenfassend erläutert und die wichtigsten Erkenntnisse übersichtlich dargestellt.

## 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Dieses zweite Kapitel befasst sich zunächst mit der Digitalisierung des Bauwesens und beschreibt dessen Entwicklung in den letzten Jahren. In diesem Zusammenhang wird der Begriff Building Information Modeling eingeführt. Der Fokus liegt auf einer detaillierten Begriffserläuterung von BIM und zeigt dessen Chancen und Risiken sowie die Veränderungen, die durch die Nutzung von BIM erforderlich sind. Grundlegende Kenntnisse über die Digitalisierung im Bauwesen und der daraus resultierende Zusammenhang mit Building Information Modeling bilden die Basis für ein besseres inhaltliches Verständnis dieser wissenschaftlichen Arbeit.

### 2.1 Digitalisierung im Bauwesen

Der Begriff „Digitalisierung“ ist ausgesprochen weitläufig und umfangreich und bezeichnet ursprünglich die Umwandlung von analogen zu digitalen Informationen. Dabei werden von analogen Daten, Objekten oder Ereignissen digitale Repräsentationen geschaffen, die wiederum gespeichert, wiedergegeben, übertragen oder weiterverarbeitet werden können. Inzwischen werden meistens keine analogen Daten mehr erstellt sondern die Medien direkt in digitaler Form generiert. Im Zusammenhang mit dem Begriff Digitalisierung steht auch der digitale Wandel bzw. die digitale Transformation. Darunter versteht man jene Veränderungsprozesse, die durch die Digitalisierung ausgelöst werden. Die Digitalisierung betrifft zahlreiche Bereiche, dazu zählen Wirtschaft, Gesellschaft, Bildung, Politik und Kultur. Dementsprechend kommt es durch die Digitalisierung auch zu Veränderungen in der Bauwirtschaft, dabei spricht man von der „Digitalisierung im Bauwesen“. [63] Die umfassenden technischen Möglichkeiten der Informationstechnik (IT) bieten den verschiedenen Wirtschaftszweigen enorme Chancen. Während Branchen, wie beispielsweise die Automobilindustrie, den Großteil ihrer Fertigungsprozesse bereits automatisiert und digitalisiert hat, gilt es in der Baubranche die Potentiale der IT auszuschöpfen. [61] Jedes Bauwerk wird als Prototyp gesondert geplant und gebaut. Die Erfahrungen, die bei der Planung und Errichtung eines Gebäudes gesammelt werden, werden für nachfolgende Projekte größtenteils nicht weiterverwendet. In der Automobilindustrie hingegen sind viele Bauteile standardisiert und werden kostengünstig, ressourcenschonend und rasch hergestellt. [81]

Mit dem Bestreben bestehende, physische Objekte in digitale Daten zu transformieren, nahm die Digitalisierung des Bauwesens ihren Anfang. [68] Als ausschlaggebend hierfür erwies sich die Entwicklung des ersten funktionsfähigen und programmierbaren Rechners durch den Bauingenieur Konrad Zuse im Jahr 1941. Sein Ziel war es, zeitaufwendige statische Tragwerksberechnungen nicht mehr händisch, sondern mithilfe eines digitalen Rechners durchzuführen und somit Zeit zu sparen. In den darauffolgenden Jahren verbreitete sich die Verwendung von solchen digitalen Rechnern rasch und weitere Berechnungsprogramme für verschiedene Einsatzgebiete wurden entwickelt. [78]

Im Jahr 1963 folgte mit der Idee von Ivan Edward Sutherland, Zeichnungen und Grafiken am Computer zu erstellen anstatt händisch auf Papier zu zeichnen, ein weiterer entscheidender Schritt in der Geschichte der Digitalisierung des Bauwesens. Im Lauf der Zeit entwickelte sich der Überbegriff CAD

(Computer Aided Design), der digitale Werkzeuge beschreibt, welche für die Geometrieerstellung und Modellierung am PC verwendet werden. [119]

Parallel zur Entwicklung von CAD-Systemen wurden um 1984 erstmals ein einheitlicher Standard für digitale Modelle unter dem Namen „STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data“ geschaffen, mit dem Ziel, digitale Zeichnungen, die mit unterschiedlichen Softwaresystemen erstellt wurden, austauschen zu können. [119] Dieser Versuch CAD-Systeme zu standardisieren konnte sich zu dieser Zeit in der Baupraxis jedoch nicht durchsetzen. [42]

Die Verwendung von CAD-Systemen zur Erstellung von digitalen Zeichnungen sollte primär zur Effizienzsteigerung beitragen. Um diese zu erlangen, mussten die herkömmliche Arbeitsweise der Zeichnungserstellung modifiziert und zusätzliche Programmfunktionen entwickelt werden. Das Verwenden von Standardbauteilen aus einem Bauteilkatalog und das Wiederverwenden von Bauteilen führte schlussendlich zur angestrebten Beschleunigung des Entwurfs- und Konstruktionsprozesses. Vor allem jedoch wurde eine bessere Qualität und ein höheres Maß an Genauigkeit der Zeichnungen erreicht. Diese Umstellung der damals konventionellen Zeichenmethode auf CAD-Systeme bewirkte die ersten Veränderungen der zeichnerischen Arbeitsweise. Die Einführung und Verbreitung der objekt- und bauteilorientierten Darstellungen von Konstruktionselementen in einem CAD-System ermöglicht es, einem Objekt zusätzlich zur Geometrie auch nicht-geometrische Informationen zuzuordnen. Ebenso können durch die Eingabe von Parametern die Geometrie eines Bauteils festgelegt und Abhängigkeiten von Bauteilen untereinander definiert werden. Dieser Grundgedanke digitale, zusammenhängende Objekte mit geometrischen und funktionalen Eigenschaften zu versehen, widerspiegelt den zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffenen Ansatz von Building Information Modeling. [121]

Aus heutiger Sicht wird unter BIM aber weit mehr als nur die objekt- und bauteilorientierte Darstellung von Elementen verstanden. BIM umfasst neben technischen Lösungsansätzen eine neue Arbeitsweise in der Planung, Ausführung und im Gebäudebetrieb. Die primären Ziele sind die Erhöhung von Kosten- und Terminalsicherheit sowie die Steigerung der Planungsqualität und -sicherheit. Weiters soll das Konzept BIM als Führungsinstrument während allen Entwurfsstadien eines Objekts dienen. [36, 42, 95]

Abgesehen von den zeichenspezifischen Fortschritten im Bauwesen, die die Einführung von CAD-Systemen in den vergangenen Jahrzehnten mit sich gebracht hat, fallen unter Digitalisierung im Bauwesen auch zahlreiche andere Komponenten. Die Veränderungen, welche die Digitalisierung mit sich bringt, haben Einfluss auf alle Bereiche des Lebenszyklus eines Gebäudes, vom Entwurf über die Ausführung, die Nutzung und schlussendlich den Rückbau. [76] Laut einer Roland Berger Studie aus dem Jahr 2016 liegen die größten Potentiale durchgängiger, digitaler Datenketten im Bauwesen in den Bereichen Logistik, Produktion und Bauausführung. [89]

Die Nutzung von Computern, Smartphones und Tablets im Büroalltag, aber auch die Verwendung des Internets für Kommunikations- und Marketingzwecke, sind wichtige Aspekte der Digitalisierung. Relevante Daten und einzelne Prozessschritte in der Planung und der Bauausführung können laufend digital erfasst werden. Das Ziel dieser Echtzeiterfassung ist es, die Daten anschließend direkt zu

analysieren und wichtige Rückschlüsse für das laufende Projekt, aber auch für künftige Projekte ziehen zu können. [3]

Werden digitale Daten zudem in einer Cloud gespeichert, verwaltet und geteilt, wird der Datenaustausch und das Datenmanagement zwischen den einzelnen Projektbeteiligten optimiert und erleichtert. Die gesammelten digitalen Daten können über den gesamten Lebenszyklus für verschiedene Anwendungen genutzt werden. Dabei haben die Beteiligten die Möglichkeit zu jedem Zeitpunkt und an beliebigen Orten auf die aktuellen Projektdaten zuzugreifen. Dies steigert die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten und führt zur Effizienzsteigerung in Unternehmen und auf der Baustelle. [75]

Die Additive Fertigung bzw. der 3D-Druck ist eine Innovation, die zur Digitalisierung im Bauwesen zählt. Grundlage des Fertigungsverfahrens bildet ein dreidimensionaler CAD-Datensatz, welcher digital in Schichten mit einheitlicher Schichtdicke geteilt wird. Das Bauteil wird schließlich Schicht für Schicht, von unten nach oben, aus einem Werkstoff generiert. [73] Durch die Vorfertigung von Objekten mit dem 3D-Drucker können komplexe Geometrien in einer besseren Ausführungsqualität realisiert sowie Bauwerkskosten verringert werden. Die Fertigungstechnik gilt als ressourcenschonend und kann dazu beitragen, dass die Bauzeit verkürzt wird. [21]

Der Begriff „Digitalisierung im Bauwesen“ ist ausgesprochen umfangreich und hat sich im Lauf der Zeit verändert. Ursprünglich wurde die Umwandlung von analogen zu digitalen Daten als Digitalisierung bezeichnet. Inzwischen versteht man unter diesem Begriff die Verwendung digitaler Werkzeuge und vernetzter Methoden. Diese können zur Produktivitätssteigerung von Mitarbeitern, der Reduktion von Baukosten, Verbesserung der Qualität und der Verkürzung der Bauzeit eingesetzt werden. [68] Das Ziel der Digitalisierung im Bauwesen ist es, die Möglichkeiten der modernen Techniken in der Bauwirtschaft erfolgreich und lukrativ einzusetzen und deren Einführungsprozess voranzutreiben. [35] Es sollen die bestehenden Bauprozesse modernisiert und der konventionelle Bauablauf digitalisiert werden, indem alle projektspezifischen Daten bezüglich rechtlichen Vorgaben, Baumaterialien, Projektbeteiligten etc. digital gesammelt und verwaltet werden. [81]

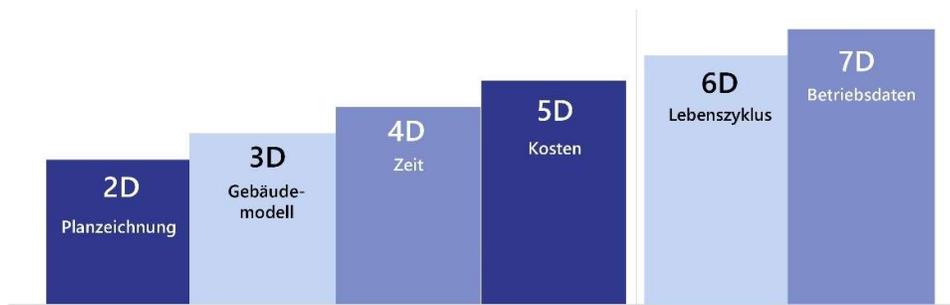
Obwohl zu einem großen Teil das Bewusstsein vorhanden ist, dass die Digitalisierung im Bauwesen viele Chancen birgt, scheitert es derzeit noch an der Umsetzung. Ein entscheidender Schritt, um ein höheres Maß an Digitalisierung im Bauwesen zu erlangen, liegt in der Nutzung von BIM, sowohl für die Planung und Ausführung als auch den späteren Betrieb. [89]

Im folgenden Abschnitt wird auf die Definition von Building Information Modeling eingegangen, sowie dessen Vor- und Nachteile in der Bauwirtschaft aufgezeigt.

## 2.2 Building Information Modeling

Der Begriff Building Information Modeling beschreibt die Erstellung, Modifizierung, Betreuung, und Verwaltung eines digitalen Gebäudemodells, welches in allen Phasen von der Planung bis zum Rückbau oder Abriss eines Bauwerks in Verwendung ist, unter Zuhilfenahme adäquater Softwaresysteme. [14]

Der grundlegende Ansatz von BIM ist es, ein digitales, dreidimensionales Gebäudemodell zu erstellen, welches nicht nur die geometrischen Eigenschaften des Bauwerks enthält, sondern zusätzlich technische Daten, wie beispielsweise funktionale oder physikalische Merkmale, und andere, für die Planung, Ausführung, den Betrieb und den Rückbau relevante Informationen. [14] Werden einem Bauteil neben den Geometrien auch zeitliche Komponenten hinterlegt, spricht man von einem 4D-Modell. In einem 5D-Modell werden zusätzlich Kosten berücksichtigt, um beispielsweise den Einfluss von Änderungen und Anpassungen im Modell auf die Kosten des Gesamtprojekts feststellen zu können. Das 6D-Modell beinhaltet darüber hinaus die Nachhaltigkeitsanalyse für den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. In einem 7D-Gebäudemodell werden zudem die Aspekte des Gebäudebetriebs betrachtet. [5] Die sieben Dimensionen von BIM sind in Abbildung 1 dargestellt. Die beschriebenen Dimensionen sind bislang überwiegend theoretische Ansätze und finden in der Praxis lediglich teilweise Anwendung.



**Abbildung 1: Sieben Dimensionen von BIM [64]**

Ein weiterer wichtiger Aspekt von BIM ist, dass die Daten und Informationen in einem solchen digitalen Modell interoperabel sein müssen, was bedeutet, dass Daten zwischen verschiedenen Programmen ohne Probleme weitergegeben und verwendet werden können. Damit der Datenimport und -export ohne größere Schwierigkeiten erfolgen kann, müssen die Daten entweder dasselbe Datenformat haben oder kompatibel, also gegenseitig austauschbar bzw. vergleichbar sein. Zusätzlich sind die Daten digital miteinander zu verlinken, um eine ganzheitliche, vernetzte Informationsquelle zu schaffen, welche verändert, ergänzt und durch eine Software geprüft werden kann. [88]

Je nachdem ob einheitliche Herstellerformate verwendet werden, spricht man von „Open BIM“ oder „Closed BIM“ und je nach Breite der Anwendung von BIM über den Lebenszyklus eines Projekts gesehen, spricht man von „Little BIM“ und „BIG BIM“.

In der Regel erstellt der Architekt ein erstes Gebäudemodell. Wird dieses ursprüngliche Modell mit der Software desselben Herstellers im weiteren Projektverlauf von anderen Projektbeteiligten weiterverwendet und ergänzt, spricht man vom sogenannten „Closed BIM“. Wenn das Modell des

Architekten lediglich eine Grundlage bildet und die anderen Fachplaner aus diesem in weiterer Folge mit eigenen Softwareprodukten eigene Teilmodelle generieren und diese nach der Fertigstellung mit einer entsprechenden Schnittstellen-Software zu einem Gesamtmodell zusammenfügen, spricht man von „Open BIM“. [119]

Unter „Little BIM“ versteht man die Erstellung eines Gebäudemodells inklusive aller BIM relevanten Informationen durch einen Planer mithilfe einer Software, die speziell auf dessen Disziplin abgestimmt ist. Die Daten im Modell werden anschließend aber nicht an andere Fachbereiche weitergegeben und so profitiert lediglich die jeweilige Disziplin selbst von der Anwendung der BIM-Methode. „BIG BIM“ hingegen beschreibt eine durchgehende Anwendung der BIM-Methode in allen Phasen des Lebenszyklus eines Bauwerks. Mithilfe von Datenbanken und Internetplattformen erfolgt die Kommunikation und Zusammenarbeit der verschiedenen Fachbereiche. [14]

Die in Abbildung 2 dargestellte Matrix zeigt die Kombination dieser vier beschriebenen Möglichkeiten. Bei „Little Open BIM“ arbeiten die Projektbeteiligten mit unterschiedlichen Datenformaten softwareübergreifend in einem Teilaspekt des Lebenszyklus, wie beispielsweise der Planung, zusammen. Die BIM-spezifischen Informationen werden nicht für weiterführende Arbeitsprozesse verwendet.

Idealerweise wird ein digitales Gebäudemodell nicht nur in einer Projektphase, sondern in jedem Abschnitt innerhalb des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks, vom frühen Entwurf über die Ausführung, die Nutzung und schlussendlich den Rückbau, verwendet und fortlaufend aktualisiert. Somit kann dasselbe Modell, welches alle Projektdaten und -informationen in digitaler Form enthält, von allen Beteiligten durchgehend genutzt, ergänzt und verändert werden. [14] Dieser offene Umgang mit Informationen zwischen den einzelnen Berufsgruppen forciert die langfristige Betrachtung eines Gebäudes als gesamtheitliches System und vermeidet Insellösungen. [18]

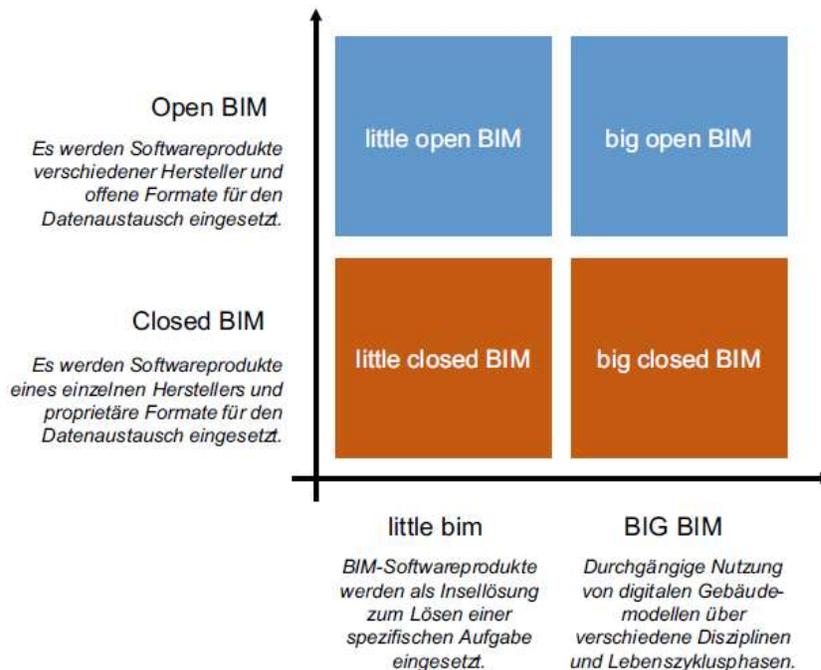


Abbildung 2: Stufen des Einsatzes von BIM [14]

Building Information Modeling beschreibt somit keine Software, sondern einen dynamischen Prozess, der die Erstellung, anschließende Betreuung und Verwendung eines digitalen Gebäudemodells umfasst. [14] Alle Projektbeteiligten, wie beispielsweise Bauherr, Architekt, Fachplaner, Facility Manager, haben, je nach Berechtigung, Zugriff auf die verschiedenen Komponenten im digitalen Datenmodell, können mit diesem arbeiten und versorgen es mit neuen Informationen. [39] BIM kann also unter zwei Gesichtspunkten betrachtet werden. Einerseits, die intelligente digitale Darstellung des Gebäudes als Produkt, welches dem Eigentümer bzw. Facility Manager als Informationsträger dient. Andererseits, der gemeinschaftliche Prozess, welcher effektiven Informationsaustausch und eine effiziente Arbeitsweise ermöglicht. Bei BIM stehen also das digitale Modell und das Management aller projektspezifischen Informationen und Daten im Vordergrund. [62]

Die Anwendungsmöglichkeiten von BIM sind umfangreich und umfassen alle Stadien eines Projekts. Dazu zählen die Bereiche der Bauwerksplanung wie Architektur, Tragwerksplanung und Haustechnik, sowie die Bauausführung mit den Teilbereichen Kostenschätzung, Kostenrechnung, Bauablaufplanung aber auch des Facility Management im Gebäudebetrieb. [87]

Die Integration von BIM in der Bauwirtschaft ist eine große Herausforderung, da es sich um ein umfangreiches Anwendungsgebiet handelt, welches schrittweise in ein Unternehmen eingeführt werden muss. Um die Implementierung übersichtlicher zu gestalten, hat die BIM Task Group des Vereinigten Königreichs ein „BIM Maturity Model“, ein BIM-Reifegradmodell entwickelt, welches den Einführungsprozess in vier Stufen, beginnend bei Level 0 bis zum Level 3, unterteilt (vergleiche Abbildung 3).

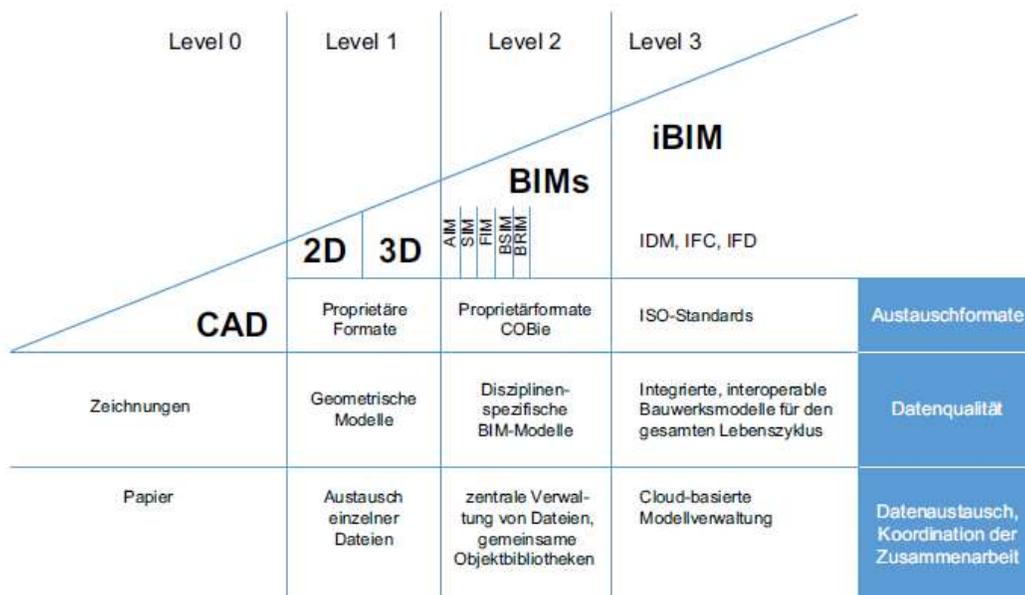


Abbildung 3: Das BIM Maturity Model [14]

Das Level 0 umfasst das Zeichnen zweidimensionaler Pläne, wobei die Datenausgabe auf Papier erfolgt und der Datenaustausch zwischen den einzelnen Projektbeteiligten nicht in digitaler Form stattfindet. Im BIM Level 1 werden neben zweidimensionalen Zeichnungen auch dreidimensionale Gebäudemodelle erstellt. Einzelne Projektdaten werden elektronisch versendet, die Gesamtheit der

Dokumente ist jedoch nicht auf einer zentralen Plattform abgelegt und die Modelle werden nicht von anderen Projektbeteiligten weiterverwendet. Diese Stufe wird derzeit in der österreichischen Bauwirtschaft großteils angewendet. Die nächste Stufe, das Level 2, ist gekennzeichnet durch eine kollaborative Arbeitsweise und einen gut funktionierenden digitalen Datenaustausch und steht im Zusammenhang mit „Closed BIM“. Die Planer erstellen umfangreiche Bauwerksinformationsmodelle mit fachspezifischen Softwareprogrammen. Voraussetzung ist, dass die Datenformate der unterschiedlichen Programme kompatibel sind und die erstellten Modelle ausgetauscht und abgeglichen werden können. Die Daten und Dokumente werden auf einer zentralen Projektplattform verwaltet. Im Level 2 werden beispielsweise auch die Informationen aus einem digitale Gebäudemodelle mit den Kostenkomponenten und dem Faktor Zeit verknüpft. Das Level 3 umfasst „BIG Open BIM“, die vollständige Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten mit einem ganzheitlichen integrierten BIM-Modell über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg. Der Datenaustausch zwischen den Beteiligten erfolgt über eine Cloud, auf der alle Projektdaten gesammelt und gespeichert sind. [14]

Die Situation der tatsächlichen, praktischen Anwendung von BIM in der Bauwirtschaft ist weltweit und auch innerhalb Europas unterschiedlich. In Österreich wird BIM derzeit nur in einzelne Unternehmen für Planungs- bzw. Ausführungsleistungen verwendet. In Großbritannien und Skandinavien hingegen ist die Nutzung von BIM bis zum Level 2 beinahe vollständig verbreitet. [33]

In der Literatur gibt es keine einheitliche Definition von BIM. Im Jahr 2017 befasste sich das Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der TU Wien mit dieser Definitionsfindung. Aus der Studie gehen folgende vier Kernaspekte des Building Information Modeling hervor: [80]

- Bei BIM handelt es sich um einen interdisziplinärer Prozess, der über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks angewendet wird.
- Ein digitales Gebäudemodell, in welchem geometrische und alphanumerische Daten und Informationen integriert sind, bildet die Basis der BIM-orientierten Arbeitsweise.
- Die Projektbeteiligten haben in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes Zugriff auf das digitale Datenmodell.
- Die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten erfolgt über ein digitales Gebäudemodell in Echtzeit.

### **2.2.1 Chancen durch BIM**

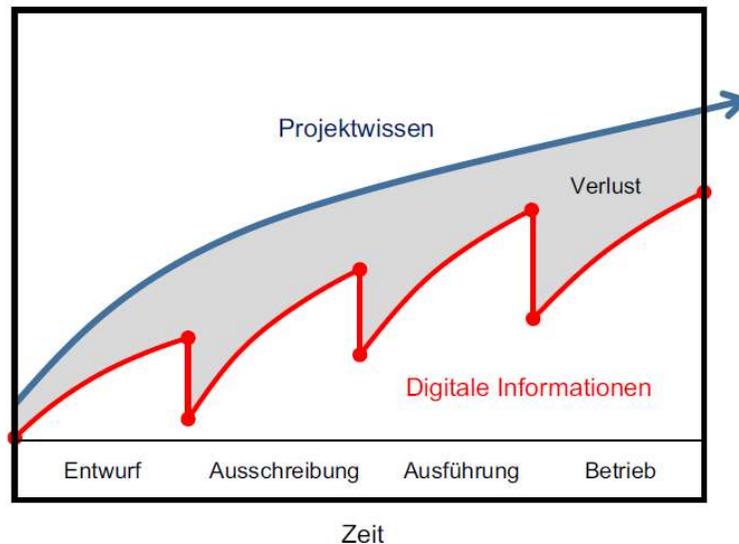
Es gibt zahlreiche Gründe, die für die Anwendung von BIM bei einem Bauprojekt sprechen, dazu zählen:

- effektiver Informationsaustausch mit vermindertem Informationsverlust
- vereinfachter Datenaustausch durch Austauschstandards und Cloudlösungen
- einheitliche Informationsbasis für alle Projektbeteiligten
- frühzeitiges Erkennen von Widersprüchen und Unstimmigkeiten in der Planung

- Transparenz im Bau- und Planungsprozess
- vereinfachtes Erstellen von Gebäudesimulationen, Analysen und Massenermittlungen
- lebenszyklusorientierte, ressourcenschonende Planung
- Minimieren von Missverständnissen durch räumliche Visualisierung
- Optimieren des Bauablaufs
- umfangreiches Gebäudemodell mit einer großen Informationstiefe für das Facility Management.

Anschließend werden die einzelnen Punkte ausführlich erläutert.

Die Anwendung von BIM ermöglicht einen effektiven Informationsaustausch, indem alle vorhandenen Daten aller Projektbeteiligten in einem Modell gesammelt und ausgetauscht werden können. Für die Steuerung und Überwachung des Modells gibt es bei jedem BIM-Projekt einen Modellverantwortlichen. Diese Aufgabe kann entweder ein BIM-Manager übernehmen, Objekt-, Fach- oder Generalplaner oder das ausführende Unternehmen. Ein BIM-Manager nimmt eine beratende und unterstützende Funktion für den Auftraggeber ein, übernimmt die Koordination zwischen den Planern und kann technische Prozesse auf Widersprüche kontrollieren. Er unterstützt die Projektbeteiligten bei der Erstellung, Koordination und Nutzung des BIM-Modells. Wird dem Generalplaner die Verantwortung für das Modell übertragen, übernimmt dieser die Koordination der Fachplaner sowie der Planungsprozesse und führt Kollisionskontrollen und Regelprüfungen durch. Liegt ein Großteil der Planungsleistungen bei einem Unternehmen, kann dieses die Koordination und Steuerung des Modells und der Projektbeteiligten übernehmen. Ein digitales BIM-Modell führt zu einem erhöhten und für alle Projektbeteiligten gleichen Wissensstand und in weiterer Folge zur Produktivitätssteigerung. Der Verlust von projektspezifischen Informationen bei Übergaben stellt bislang eine nennenswerte Erschwernis in der Baubranche dar. Bisher war es nicht möglich, alle Daten, die in den einzelnen Projektphasen gesammelt werden, weiterzuverwenden, weil sie nicht vollständig an die Projektbeteiligten weitergegeben wurden. Der insuffiziente Informationsaustausch bei Datenübergaben zwischen den einzelnen Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes führt dazu, dass wiederholt wichtige Informationen verloren gehen und in weiterer Folge von anderen Projektbeteiligten erneut einzuholen sind (vergleiche Abbildung 4). [14, 34]



**Abbildung 4: Informationsverlust [14]**

BIM erleichtert den Umgang mit den stetig komplexer werdenden Projekten durch einen vereinfachten Datenaustausch, indem alle Beteiligten jederzeit Zugriff auf die aktuellste Version der Daten im digitalen Datenmodell haben. Durch die einheitliche Informationsbasis ist eine bessere Kommunikation möglich und die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten untereinander wird erleichtert. Bei Planänderungen kommt es zu deutlich weniger Missverständnissen und Entwurfsfehlern. Aus dem einen, dreidimensionalen Gebäudemodell können schließlich stimmige, zweidimensionale Pläne generiert werden. [14] Werden die einzelnen Daten der Projektbeteiligten zu einem Gesamtmodell zusammengefügt, können mithilfe sogenannter Clash Detections Widersprüche in der Planung eruiert und in weiterer Folge behoben werden. So haben die Planer die Möglichkeit Fehler noch in der Planungsphase auszubessern, wodurch Komplikationen und Improvisation in der Bauausführung verhindert werden. [13] Infolge dessen wird die Qualität der Planung verbessert, die Datengenauigkeit erhöht und die Häufigkeit von Fehlern in der Ausführung minimiert, wodurch aufwendige Nacharbeiten verhindert werden können. [36]

Die Durchgängigkeit des digitalen Gebäudemodells bietet in der Planung und Ausführung den verschiedenen Projektbeteiligten die Möglichkeit jederzeit auf sämtliche Informationen des Projekts, wie beispielsweise die aktuelle Planung, terminliche Daten und Kosten, zugreifen zu können und schafft somit Transparenz im Bauprozess. [10] Diese Transparenz erschwert das Verbergen von Problemen und verbessert die Ausführungsqualität der Bauleistungen. [78] Nach Bodden (2015) ermöglicht die Anwendung der BIM-Technologie komplizierte Haftungsfragen zu klären und den Urheber von Planungsfehlern ausfindig zu machen. Beispielsweise ist im System hinterlegt, welche Planänderungen von welchem Beteiligten vorgenommen worden sind. [13]

Ein weiterer Vorteil von BIM ist die Möglichkeit, die im digitalen Gebäudemodell hinterlegten Daten direkt für Simulationen, Analysen, Berechnungen und dergleichen weiterzuverwenden, was zur Produktivitätssteigerung und in weiterer Folge zur Entlastung der Projektbeteiligten beitragen kann. Statiknachweise, Aufmaßermittlungen, Kostenschätzungen, Massen für die Abrechnung etc. werden durch die Interoperabilität der Daten mit bedeutend geringerem Aufwand und zudem mit einer

größeren Genauigkeit berechnet. Derzeit ist es notwendig wiederholt dieselben Daten in unterschiedliche Programme manuell einzugeben, anstatt die Daten bereits existierender Dokumente weiter zu verwenden. Gründe dafür sind, dass der Datenaustausch in gedruckter Form erfolgt oder, weil die digitalen Formate nicht kompatibel sind. Bei BIM werden im Modell alle projektrelevanten Parameter hinterlegt, die anschließend weiterverarbeitet werden können, was zur Fehlerminimierung beiträgt, den Arbeitsaufwand verringert, die Arbeitszeit reduziert und die Qualität steigert. [14] Beispielsweise werden den Bauteilen in dem Modell bauphysikalische Daten, beispielsweise U-Werte, zugewiesen, mit denen in weiterer Folge ein Energieausweis berechnet werden kann. [61] Seit dem Jahr 2000 gibt es global das einheitliche Datenaustauschformat „Industry Foundation Classes“ (IFC) für BIM-Systeme, welches den Datenaustausch zwischen Bauherrn, Planern und Ausführenden ermöglichen soll. [10]

Durch die Möglichkeit Simulationen zu einem früheren Zeitpunkt der Planungsphase durchführen zu können, können verschiedene Entwurfsmöglichkeiten durchgespielt, Planungspotentiale erkannt und Konflikte frühzeitig identifiziert werden. [14] Es wird das Bewusstsein der Planer gestärkt nicht nur den Bau, sondern den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zu betrachten. [119] Eine solche lebenszyklusorientierte Planung ermöglicht die Optimierung und gleichzeitig Minimierung des Ressourcenverbrauchs in der Phase des Gebäudebetriebs. [46] Mit dem digitalen Gebäudemodell, welches mit Kostenkomponenten verknüpft ist, kann eine Machbarkeitsstudie durchgeführt werden. Zudem sehen die Beteiligten bei Entwurfsänderungen die direkten Auswirkungen auf die Kosten. Diese bietet den Projektentwicklern die Möglichkeit abzuschätzen, ob das Projekt mit den gewünschten Anforderungen und Qualitätsansprüchen in der vorgegebenen Zeit mit dem geplanten Kostenbudget realisiert werden kann. [14]

Die fortschrittlichen Möglichkeiten digitaler, räumlicher Visualisierungen reduzieren Kommunikationsschwierigkeiten zwischen Architekt und Bauherrn und ermöglichen eine höhere Planungstiefe als bei der zweidimensionalen Planung. Der Bauherr bekommt bereits während der Planung ein komplettes, virtuelles Abbild seines in Auftrag gegebenen Baubjekts und kann sich das Endobjekt und die spätere Nutzung besser vorstellen. Infolgedessen kommt es zu weniger nachträglichen Änderungen und die Kundenzufriedenheit steigt. [17] Auch im Projektteam werden Fehleinschätzungen, Missverständnisse und Reklamationen minimiert und Entscheidungen können auf Basis einer soliden, einheitlichen und nachvollziehbaren Grundlage getroffen werden. [36]

BIM ermöglicht die Fachplanung komplett abzuschließen und zu prüfen, sowie Detaillösungen bereits im Modell herauszuarbeiten, bevor die Ausschreibungen erstellt werden und bevor mit der Bauausführung begonnen wird. [17] Die Anwendung von BIM bietet also die Möglichkeit sich vom sogenannten „baubegleitenden Planen“ zu lösen.

Durch die Verknüpfung des geometrischen Datenmodells mit dem Faktor Zeit können bereits vor Baubeginn der Bauablauf in Echtzeit simuliert werden und terminliche Überschneidungen, die sich bei der Durchführung der Bauarbeiten und im Beschaffungsprozess ergeben können, frühzeitig erkannt und gelöst werden. Die Möglichkeit Bauabläufe gezielt aufeinander abzustimmen bewirkt das Vermeiden von Wartezeiten, eine Verkürzung der Bauzeit und folglich eine Minderung der Gesamtkosten. [36] Beispielsweise ist es möglich den Zeitpunkt für die Lieferung von Ortbeton genauer

zu prognostizieren und bei Verzögerungen im Bauablauf, Anpassungen vorzunehmen. Zudem können der Einsatz und die Verfügbarkeit von Maschinen präziser geplant werden. [12]

Die auf der Baustelle tätigen Arbeiter profitieren ebenfalls von einem digitalen Datenmodell. Mithilfe von Tablets erhalten sie Zugriff auf das Modell bzw. die aktuellsten Pläne und haben die Möglichkeit Anregungen zu ergänzen. [12] Die Dokumentation des Baufortschritts wird erleichtert und verbessert, indem beispielsweise täglich die aktuellen Bautagebücher allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt werden. [17]

Wird das digitale Gebäudemodell auch für die Bewirtschaftung des Objekts weiterverwendet, stehen dem Bauherrn bzw. Facility Manager alle Informationen hinsichtlich der Gebäudegeometrie und Haustechnik zur Verfügung. Es werden Daten über den Betrieb, die Gerätebedienung, Wartungsanweisungen und Garantiebestimmungen der technischen Anlagen von den jeweils zuständigen Planern und Subunternehmern hinterlegt. Mittels Kenntnis über die eingebauten Stoffe ist es dem Bauherrn bei einem Rückbau möglich eine umweltgerechte Entsorgung zu veranlassen. [14]

Zusammengefasst können durch die Verwendung von BIM die Schnittstellen zwischen den Projektphasen und -beteiligten minimiert und so Fehler in der Planung und Ausführung reduziert werden. Durch den verbesserten Informationsaustausch der Projektbeteiligten untereinander und der Möglichkeit Daten weiterverwenden zu können, wird die Produktivität der Einzelnen gesteigert und die Qualität des Bauobjekts verbessert, was zu einer Reduktion der Kosten und des Zeitaufwands beiträgt. [36]

Zu berücksichtigen ist, dass sich viele der oben genannten Vorteile nur ergeben, wenn BIM durchgehend in allen Projektphasen eines Bauwerks angewendet wird. [87] Voraussetzung für eine umfassende Informationsplattform und eine vollständige, widerspruchsfreie Dokumentation ist die kontinuierliche Anpassung und Abgleichung des Modells mit der tatsächlichen Bauausführung. [46]

### **2.2.2 Herausforderungen durch BIM**

Neben den zahlreichen Chancen, die die Implementierung von BIM in der Baubranche mit sich bringt, sind die Herausforderungen nicht außer Acht zu lassen. Die Risiken, welche eine Nutzung von BIM bergen, sind zu identifizieren und bewerten. [36]

Nachfolgend werden die Probleme, die sich bei der Verwendung von BIM ergeben, aufgezählt und anschließend ausführlich erläutert:

- Datensicherheit bei Cloudlösungen
- Verletzen der Urheberschaft von Planungselementen
- Grenzen der Haftungszuständigkeit
- Transparenz im Bau- und Planungsprozess
- hohe Investitionskosten für Softwareprogramme und Mitarbeiterschulungen
- Probleme beim Datenaustausch von unterschiedlichen Softwareprogrammen

- Verlagerung des Arbeitsaufwands
- Verändern bestehender Berufsfelder und Entstehen neuer Berufsbilder.

Die Zugänglichkeit des digitalen Datenmodells über die Cloud wirft Skepsis hinsichtlich Datensicherheit und -schutz auf. Es besteht die Gefahr, dass sich Unbefugte Zugriff auf Daten verschaffen, diese manipulieren oder weiterverwenden und so gegen Urheberrechte verstoßen. [36]

Ebenso können bei der cloudbasierten Arbeitsweise Projektbeteiligte ohne Probleme Planungselemente anderer kopieren und diese unrechtmäßig weiterverwenden. Ein großes Problem in dieser Hinsicht ist die gemeinsame Urheberschaft der Planungsbeteiligten an dem gemeinsamen digitalen Gebäudemodell. Es ist zu berücksichtigen, dass eigene Projektpläne und Daten nicht ohne weiteres weitergegeben oder für andere Projekte weiterverwendet werden dürfen, weil dadurch möglicherweise gegen Miturheberrechte von anderen Beteiligten verstoßen wird. [13] Um rechtliche Risiken für die Anwendung von BIM zu minimieren, sind einheitliche, standardisierte Verträge zu definieren. Es werden Richtlinien benötigt, welche die Weiterverwendung und Anpassung von erstellten BIM-Modellen durch andere Projektbeteiligte regelt.

Durch das interaktive Arbeiten der Beteiligten, gehen die Verantwortungsbereiche ineinander über und es werden klare Grenzen benötigt, die die Haftungszuständigkeit bei eventuellen Fehlern regeln. [36] Es sind genaue BIM-Vertragsbedingungen aufzusetzen, in denen die Leistungsbereiche aller Projektbeteiligten klar definiert und strikt voneinander getrennt sind. Nur dann können herkömmliche Haftungsbedingungen auch bei der Nutzung von BIM angewendet werden. Bei einer strukturierten und organisierten Projektdokumentation sind die Haftungsgrenzen klar ersichtlich. Alle Produktionsschritte und Beiträge werden digital dokumentiert und folglich können im Nachhinein Fehler direkt einem Verursacher zugeordnet und dieser dafür haftbar gemacht werden. Eine gemeinschaftliche Haftung tritt äußerst selten auf, beispielsweise dann, wenn ein Planer die für ihn relevanten Vorleistungen nicht hinreichend prüft und folglich seine Leistungen auf einer fehlerhaften Plangrundlage erbringt. [13]

Der im vorherigen Abschnitt erwähnte Vorteil der Transparenz der Leistungserbringung aufgrund des durchgängigen digitalen Gebäudemodells ist nicht nur eine Chance, sondern ebenso ein Nachteil für manche Projektbeteiligte. [10] Die Clash Detections zeigen während dem gesamten Planungsprozess die auftretenden Widersprüche. Folglich wird offenkundig, welchem Planer Fehler unterlaufen sind und wer für Verzögerungen verantwortlich ist. Darüber hinaus kann im Nachhinein der Verantwortliche für Fehler in der Bauausführung eruiert und dafür haftbar gemacht werden. [13]

Aus finanzieller Sicht sind bei der Einführung und Verwendung von BIM in einem Unternehmen kostspielige Investitionen zu tätigen. Die Beschaffung einer entsprechenden Software und das Schulen des Personals, die den Umgang mit der neuen Technik lernen müssen, verursachen Kosten. [74] Dasselbe gilt für die Anschaffung von mobilen technischen Geräten, wie beispielsweise Tablets. [12] Da Planer eine größere Menge und genauere Informationen in das digitale Datenmodell einpflegen müssen, wird zusätzliche Zeit benötigt, was wiederum Planungskosten verursacht. [36]

Derzeit verwenden die verschiedenen Projektbeteiligten unterschiedliche Softwarewerkzeuge, meist jene, die speziell auf ihren Fachbereich angepasst sind. Diese Softwareunterschiede führen wegen

unzureichender Interoperabilität zu Problemen und Herausforderungen beim Informationsaustausch. Es gilt Werkzeuge zu entwickeln, die es ermöglichen, die Programme miteinander zu verknüpfen. [62] Die Austauschbarkeit von Daten verschiedener Softwareprogramme ist derzeit sehr begrenzt, was die Akzeptanz und Verbreitung von BIM beeinträchtigt. Um diese Schnittstellen zu eliminieren und sowohl geometrische Daten als auch andere Informationen austauschen zu können, sind zukünftig softwareunabhängige, internationale Formate und Standards, wie beispielsweise IFC, erforderlich. Die Interoperabilität der Daten ist die Basis für die erfolgreiche Zusammenarbeit an einem gemeinsamen, durchgängigen Gebäudemodell. [32]

Bei BIM steht das Team im Vordergrund. Von den Projektbeteiligten wird ein hohes Maß an Zusammenarbeit erwartet und gefordert. Die derzeitige Denkweise orientiert sich primär am eigenen Fachbereich und am Erfolg der eigenen Firma. Diese fachbezogene Betrachtungsweise und Grundhaltung gilt es abzulegen und den Fokus auf den gemeinschaftlichen Erfolg zu lenken. Die Mitwirkenden sollen über ihren eigenen Fachbereich hinausschauen und kooperativ arbeiten, damit die Grenzen und Schnittstellen minimiert werden. [78]

Die Nutzung von BIM führt zu einer Verlagerung des Arbeitsaufwands. Beispielsweise ist es die Aufgabe der Architekten ein umfangreiches Gebäudemodell, welches relevante BIM-spezifische Daten enthält, zu erstellen, was im Vergleich zur konventionellen Konstruktionsmethode um ein vielfaches zeitaufwendiger ist. Diese Aufwandsverlagerung verlangt eine neue Definition der Leistungsbilder der Projektbeteiligten in den jeweiligen Prozessphasen im Lebenszyklus und das Anpassen der Honorarordnung der Entwurfsplanung. [78]

Die BIM-basierte Arbeitsweise in der Baubranche führt dazu, dass sich die Herangehensweise an ein Projekt und die organisatorische, unternehmerische Struktur grundlegend ändern. Das Vorverlegen der Planungsprozesse und der Entscheidungsfindung gibt Aufschlüsse über die Wechselwirkung von Kosten und Qualität. [38]

Durch die Anwendung von BIM verändern bzw. erweitern sich manche Berufsfelder. Ein Planer beispielsweise behält dieselben Aufgaben der Leistungserbringung bei, die Methodik der Planung verändert sich aber von einer zeichnungsorientierten zu einer modellgestützten Arbeitsweise. Es werden keine zweidimensionalen Zeichnungen mehr erstellt, sondern dreidimensionale Gebäudemodelle. [38] Aus der Sicht des Managements werden zudem neue Berufsbilder, wie beispielsweise BIM-Manager, BIM-Koordinator, BIM-Ingenieur, BIM-Experte, BIM-Entwickler etc., entstehen zu deren Aufgabengebieten die Koordination, Steuerung und Kommunikation der Daten und Projektbeteiligten gehören. [2, 12] Es werden Fachkräfte erforderlich sein, die als kontrollierende Organe Fehler ermitteln, Entscheidungen hinsichtlich der Verantwortung treffen, den Modellzugang für die Projektbeteiligten verwalten und die Dokumentation übernehmen. Was die jeweiligen Aufgaben der BIM-spezifischen Fachkräfte sind und wie das jeweilige Qualifikationsprofil aufgebaut ist variiert in den unterschiedlichen Unternehmen und Ländern. [36]

## 2.3 Zwischenresümee

Derzeit gibt es verschiedene rechtliche Unklarheiten bezüglich des Urheberrechts, der Haftung, der Datensicherheit und der Vergütung von zusätzlichen Aufwänden für Planer durch die Anwendung von BIM. Durch das Schaffen von rechtlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen können diese Unklarheiten geregelt werden und somit überwiegen auf lange Sicht die Chancen. BIM ermöglicht eine lebenszyklusorientierte Planung, steigert die Kommunikations- und Datenaustauschprozesse und trägt schließlich zu einer erhöhten Planungs- und Ausführungsqualität sowie zur Effizienzsteigerung der einzelnen Arbeitsschritte bei. Das gewährleistet eine höhere Kostensicherheit und reduziert die Bauzeit. Von der Anwendung der BIM-spezifischen Arbeitsweise profitieren die einzelnen Projektbeteiligten, wie Fachplaner, Bauherren, ausführende Unternehmen und das Facility Management.

Der Wechsel zur BIM-orientierten Arbeitsweise bei Bauprojekten ist vor allem zu Beginn mit Investitionskosten verbunden. In Planungsbüros fallen Kosten für spezielle Softwareprogramme an. Durch die integrierte Arbeitsweise steigen die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Rechnern und Grafikkarten sowie die Kapazität des Arbeitsspeichers. Zudem müssen Unternehmen für Mitarbeiterschulungen aufkommen.

Aufgrund der Komplexität von Building Information Modeling ist die Integration in den Lehrplan einer Universität äußerst aufwendig und schwierig. Wie BIM dennoch gelehrt und in den Lehrplan integriert werden kann, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit erläutert.

### **3 DERZEITIGER STAND DER BIM-LEHRE**

Im dritten Kapitel wird Bezug auf die Ausbildungsaspekte von BIM genommen. Dabei wird zunächst die Bedeutung von BIM in der Lehre an weiterbildenden Institutionen, wie Universitäten und Fachhochschulen, verdeutlicht und die aktuelle Situation der BIM-spezifischen Lehre in Bauingenieurstudiengängen an Universitäten in verschiedenen Ländern analysiert und aufgezeigt. Zunächst wird die Situation der Lehre von BIM an Universitäten, Fachhochschulen und Höheren Technischen Lehranstalten in Österreich aufgezeigt und die verschiedenen Methoden der Implementierung sowie die Lehrinhalte mit den zugehörigen Lernzielen beschrieben. In weitere Folge werden die Implementierungsvorgänge und Lehrmethoden von ausgewählten Universitäten in verschiedenen Ländern vorgestellt. Ziel dieses Kapitels ist es, unterschiedliche Methoden aufzuzeigen, wie BIM an Universitäten gelehrt werden kann sowie die Vor- und Nachteile der verschiedenen Strategien kennen zu lernen. Basierend auf den Nachforschungen in diesem Kapitel können allgemeine Lernziele von BIM definiert werden. Die Ausarbeitung dieses Kapitels bildet die Grundlage für die Erstellung eines Handlungsplanes für die Implementierung von BIM in den Lehrplan der TU Wien, was das zentrale Thema dieser Diplomarbeit darstellt.

#### **3.1 BIM in der Ausbildung**

Immer mehr Regierungen ergreifen die Initiative und fordern kollaborative BIM-Prozesse in der Bauwirtschaft. Zu den Pionieren zählen unter anderem die UK BIM Initiative, die Singapur BCA BIM Initiative, der U.S. National BIM Standard, das norwegische BIM Manual, die dänische „Digital Construction“ Initiative. Das Ziel dieser staatlichen Initiativen ist es, die herkömmlichen Bauprozesse in der Bauwirtschaft der jeweiligen Länder rasch zu adaptieren, sodass die BIM-orientierte Arbeitsweise flächendeckend Anwendung findet. [94] Die erfolgreiche Anwendung von BIM in der Baubranche beruht auf gut geschultem Fachpersonal mit entsprechendem Wissen und fundierten Fähigkeiten im Umgang mit BIM. [4] Das Qualifikationsprofil der Beteiligten an einem Bauprojekt ist umfangreich. Grundvoraussetzung sind elementare Kenntnisse über BIM und der routinierte Umgang mit den Softwareprogrammen. [82] Doch solche qualifizierten Experten mit ausgeprägten Fähigkeiten im Bereich BIM sind rar und nur schwer zu finden, da die Ausbildungsmöglichkeiten in diesem Fachbereich bislang begrenzt sind. Um die in der Baubranche zunehmende Nachfrage nach sogenannten BIM-Experten zu decken, ist es die Aufgabe von facheinschlägigen Bildungseinrichtungen, BIM in den Lehrplan zu integrieren und die Studierenden bestmöglich auf die bevorstehenden Tätigkeiten im Berufsalltag vorzubereiten. [41]

Bei der Lehre von BIM geht es nicht darum, den Studierenden eine spezifische Software für das Erstellen von zwei- oder dreidimensionale Zeichnungen beizubringen. Da sich BIM vom konventionellen CAD-Zeichnen differenziert und über das digitale Zeichnen hinausgeht, sind neue Denk- und Lehrmethoden erforderlich. Bei der Anwendung von BIM steht der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes, vom Entwurf bis zur Nutzung, im Vordergrund und die gemeinschaftliche interdisziplinäre Zusammenarbeit hat einen großen Stellenwert. Es wird ein umfassendes Abbild des gesamten Gebäudes mit einer großen Informationstiefe generiert. Das BIM-Modell enthält virtuelle Gebäudekomponenten, die miteinander verknüpft sind. Neben geometrischen Eigenschaften werden

auch Materialkomponenten im Modell hinterlegt. Diese verschiedenen Aspekte von BIM sind bei der Lehre von BIM zu berücksichtigen. [71]

Mit der derzeitigen Ausbildung erlangen Absolventen des Bauingenieurwesens fundamentales Wissen in technischer Hinsicht. Was fehlt sind die konzeptionellen Fähigkeiten den Prozess vom Entwurf bis hin zum Bau und Betrieb zu verstehen. Mit der Lehre von BIM soll genau dieses Verständnis für den gesamten Bauprozess geschult werden, indem die Studierenden die Zusammenhänge der Projektbeteiligten in den einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes erfahren. [72] Eine grundlegende universitäre Ausbildung im Bereich BIM bewirkt zudem, dass Studierende im Umgang mit Softwareprogrammen routinierter werden. Dies wiederum stärkt das Selbstbewusstsein beim Einstieg in das Berufsleben, da die Absolventen ein breiteres Qualifikationsprofil vorweisen können. [2]

Die erforderlichen Umstrukturierungen im Curriculum des Bauingenieurstudiums, die durch die Implementierung von BIM in den Lehrplan hervorgerufen werden, bieten die Gelegenheit sich von der disziplinären, fachbezogenen Lehre zu lösen und fächerübergreifende Lehrmethoden anzuwenden. Neben den zahlreichen kompetenzorientierten Chancen, birgt interdisziplinärer Unterricht auch das Potential den Studiengang sowohl für Studierende als auch für Lehrende interessanter und abwechslungsreicher zu präsentieren. [41]

Der Mangel an Fachpersonal im Bereich von BIM ist neben häufigen Softwareupdates und dem Kostenfaktor eine der größten Herausforderungen BIM erfolgreich in der Baubranche voranzutreiben. [120] Die fehlenden Ausbildungsmöglichkeiten für Studierende hindert die Akzeptanz, Verbreitung und praktische Anwendung von BIM in der Wirtschaft. [67] Die Bildungsstätten sind somit mitverantwortlich BIM für das Bauwesen maßgebend zu beeinflussen, zu fördern und voranzutreiben. [67]

Die oben beschriebene Relevanz und die vorhandenen Potentiale, welche die Lehre von BIM an Hochschulen mit sich bringt, waren ausschlaggebend, sich der herausfordernden Aufgabe zu stellen, BIM in den Lehrplan der TU Wien zu integrieren.

## 3.2 Österreich

Drei häufig gewählte Ausbildungswege in Österreich im Fachbereich Bauwesen sind Höhere Technische Lehranstalten, Fachhochschulen und Universitäten. Die Ausbildungen an einer der drei Institutionen mit Ausbildungsschwerpunkt Bauingenieurwesen bzw. Bautechnik ermöglichen den späteren Einstieg in eine ingenieurwissenschaftliche Berufstätigkeit. Höhere Technische Lehranstalten zählen zu den Berufsbildenden höheren Schulen mit technischem oder gewerblichem Ausbildungsschwerpunkt in der zweiten Sekundarstufe und umfassen die neunte bis dreizehnte Schulstufe. Der nach fünfjähriger Ausbildung erhaltene Abschluss einer Höheren Technischen Lehranstalt ist die Reife- und Diplomprüfung. Jene Absolventen sind durch die fundierte technische und gewerbliche Berufsausbildung bereits berechtigt bestimmte technische Berufe, die in der Gewerbeordnung geregelt sind, auszuüben. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Ausbildungsschwerpunkte an Höheren Technischen Lehranstalten. Im Hinblick auf diese Diplomarbeit werden unter dem Begriff HTL ausschließlich Höhere Technische Lehranstalten im Fachbereich

Bautechnik angesprochen. Fachhochschulen und Universitäten zählen zur Tertiärstufe. Die Reifeprüfung ist die Zulassung für Studien an Fachhochschulen und Universitäten, deren Abschluss der Bachelor, Master, Diplomingenieur (auslaufend) und bei Universitäten auch der Doktor sein kann. Mit einem abgeschlossenen Studium steht es den Absolventen frei, im jeweiligen Fachbereich die Berufstätigkeit aufzunehmen. [16, 26]

In diesem Kapitel wird das Angebot von BIM-basierenden Lehrveranstaltungen und Ausbildungsmöglichkeiten an österreichischen Universitäten, Fachhochschulen und Höheren Technischen Lehranstalten mit dem Schwerpunkt Bauingenieurwesen untersucht. Zu diesem Zweck wurden die jeweiligen Curricula der verschiedenen Bildungsinstitute analysiert, um Lehrveranstaltungen zu identifizieren, in denen BIM-relevante Inhalte behandelt werden. Von den einzelnen Lehrveranstaltungen werden die Lehrinhalte angeführt und beschrieben.

#### **3.2.1 Universitäten**

Neben der Technischen Universität Wien gibt es in Österreich die Technische Universität Graz und die Universität Innsbruck, welche Studien im Fachbereich Bauingenieurwesen anbieten. In diesem Kapitel wird der derzeitige Stand der Lehre hinsichtlich Building Information Modeling an den drei österreichischen Universitäten erläutert.

##### **Technische Universität Wien**

Für Studierende des Bachelorstudiengangs Bauingenieurwesens an der TU Wien ist im regulären, derzeitigen Studienplan keine Lehrveranstaltung im Bereich Building Information Modeling vorgesehen.

Bis Ende Sommersemester 2017 gab es im Master eine Lehrveranstaltung mit BIM, unter dem Titel „Integrale Planungskonzepte mit BIM (Building Information Modelling)“ im Umfang von 6,0 ECTS (European Credit Transfer System). Es handelte sich um ein Wahlfach, welches in Zusammenhang mit der Projektarbeit absolviert werden konnte. Die Lehrveranstaltung wurde für Studierende des Bauingenieurwesens, der Architektur und des Masterstudiengangs Building Science angeboten. Der Inhalt der Lehrveranstaltung umfasste das Erstellen bzw. Entwickeln, Analysieren und Optimieren eines digitalen Gebäudemodells mit BIM-spezifischen Softwareprogrammen. In Zusammenarbeit entwickelten die Studierenden der verschiedenen Studienrichtungen einen Entwurf und ein Gebäudekonzept. Die Studierenden der Studienrichtung Architektur generierten anschließend ein dreidimensionales Bauwerksinformationsmodell. Mit dem Modell entwickelten anschließend die Studierenden des Bauingenieurwesens und des Masterstudiengangs Building Science ein Energiekonzept und berechneten den Energiebedarf. Zeitgleich wurde ein Lüftungskonzept entwickelt, welches ebenfalls in das digitale Gebäudemodell zu integrieren war. Für die Erstellung des Modells und die Berechnungen werden aktuelle BIM-Normen sowie Prozess-Standards verwendet. Der gesamte Entstehungs- und Entwicklungsprozess wurde in Bezug auf die Komponenten Kommunikation, digitalen Datenaustausch und interdisziplinäre Optimierungsprozesse dokumentiert. Der Fokus der Lehrveranstaltung lag auf der starken Zusammenarbeit zwischen den Studierenden der drei verschiedenen Studienrichtungen. Dabei lernten sie die Kernelemente der jeweils anderen Fachbereiche kennen. Der Kurs war eine Kombination aus Workshops und Vorlesungen. Dadurch

lernten die Studierenden selbständiges Arbeiten und den Umgang mit den jeweiligen Softwareprogrammen. Die Beurteilung der Studierenden im Fachbereich Architektur basierte auf den folgenden drei Kriterien: die architektonische Qualität des Entwurfs, die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit des Tragwerks sowie der Input in das gemeinschaftlich entwickelte bauphysikalische Konzept. [43, 109] Die Lehrveranstaltung „Integrale Planungskonzepte mit BIM (Building Information Modelling)“ wurde seit dem Wintersemester 2012/13 in einem jährlich wiederholenden Rhythmus angeboten und wurde jedes Jahr auf Basis der Erfahrungen und Erkenntnisse des Vorjahres adaptiert und optimiert. [54]

Mit Oktober 2017 trat ein neues Curriculum für den Masterstudiengang Bauingenieurwesen an der TU Wien in Kraft. Die im oberen Absatz beschriebene Lehrveranstaltung „Integrale Planungskonzepte mit BIM (Building Information Modelling)“ diente als Basis für die Entwicklung von zwei BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen im neuen Curriculum. Seit Anfang Oktober 2017 gibt es das Modul „Interdisziplinäre Ausbildung“, welches aus drei verpflichtenden Lehrveranstaltungen besteht. Eine der drei Lehrveranstaltungen im Modul „Interdisziplinäre Ausbildung“ ist „Planungsprozesse mit BIM“, eine Vorlesung mit Übungseinheiten im Umfang von 3,0 ECTS-Punkten. In den Vorlesungen erfahren die Studierenden die Grundlagen über BIM-spezifische Richtlinien und Regelwerke, BIM Levels und Werkzeuge. Aufgeteilt in Gruppen wird der praktische Übungsteil der Lehrveranstaltung erarbeitet. Die Aufgabe besteht darin, ein dreidimensionales Bauwerksinformationsmodell eines Industriegebäudes zu entwickeln und zu generieren, welches in weiterer Folge für statische Tragwerksberechnungen und für Kalkulationszwecke verwendet wird. [54] Seit dieser Umstellung des Curriculums erhält somit jeder Studierende im Masterstudium Bauingenieurwesen an der TU Wien grundlegende Kenntnisse im Bereich BIM.

Die masterspezifische Ausbildung an der TU Wien ist so aufgebaut, dass jeder Studierende aus einem Angebot von sechs verschiedenen Vertiefungsmodulen zwei Module auswählt. In jedem Modul gibt es einen Lehrveranstaltungskatalog, aus dem je nach Interesse Kurse ausgewählt werden können. Im Vertiefungsmodul „Bauprozessmanagement“ ist das Seminar „Integrated BIM Design Lab“ mit 8,0 ECTS-Punkten, welches für Studierende im Master des Bauingenieurwesens und der Architektur angeboten wird, enthalten. Dieses Seminar ist ähnlich aufgebaut wie die ehemals angebotene Lehrveranstaltung „Integrale Planungskonzepte mit BIM“. Die Aufgaben werden in Gruppen gelöst, die jeweils aus zwei Studierenden der Architektur und ein bis zwei Studierenden des Bauingenieurwesens bestehen. Jedes Team entwickelt ein innovatives Gebäudekonzept für ein vorgegebenes Bauwerk, wobei die Aspekte der Architektur, Tragwerksplanung und Energieeffizienz zu berücksichtigen sind. Die Studierenden der Architektur konzipieren und erstellen ein dreidimensionales Modell und hinterlegen die geometrischen Komponenten mit technischen Daten, die für die anschließenden Berechnungen der Tragstruktur und die Energieberechnung des Bauwerks, die von Seiten der Bauingenieurstudierenden erfolgen, erforderlich sind. Bei der Zusammenarbeit lernen die Studierenden verschiedene Methoden des Austausches der BIM-spezifischen Informationen und Daten kennen. Ein weiterer wichtiger Lehrinhalt ist die Dokumentation der Planungsprozesse. Das Seminar besteht zu einem großen Teil aus Workshops, die durch Vorlesungen ergänzt werden, in denen relevante inhaltliche Aspekte über BIM gelehrt werden. Diese

Lehrveranstaltung „Integrated BIM Design Lab“ wird als Wahlfach in der Vertiefungsrichtung „Bauprozessmanagement“ angeboten. [110]

Verschiedene Institute, wie beispielsweise das Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, bieten bereits Themen für Projekt-, Bachelor oder Diplomarbeiten im Bereich BIM an, um das fachspezifische Wissen über BIM auszubauen.

#### **Technische Universität Graz**

Im Bachelorstudiengang „Bauingenieurwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen“ an der Technischen Universität wird das Wahlfach „Building Information Modeling“, das im Rahmen einer Vorlesung mit zusätzlichen Übungseinheiten abgehalten wird, mit 4,0 ECTS-Punkten angeboten. Die Lehrinhalte des Kurses umfassen die Anwendung von BIM in der Praxis, die Modellierung von Gebäuden und Bauprozessen anhand eines Beispiels, die Datenstrukturen der Modelle und deren Interoperabilität. Weiters wird veranschaulicht wie BIM für Simulationen verwendet werden kann, zur Prozessoptimierung beitragen kann und wo die Entwicklungspotentiale von BIM liegen. [100]

Im Masterstudium „Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen“ an der Technischen Universität Graz gibt es das Angebot der beiden Wahlfächer „Building Information Modeling 1“ im Umfang von 4 ECTS-Punkten und „Building Information Modeling 2“ im Umfang von 4,5 ECTS-Punkten. [23]

#### **Universität Innsbruck**

Das Bachelorstudium „Bau- und Umweltingenieurwissenschaften“ an der Universität Innsbruck ist der Fakultät für Technische Wissenschaften zugeordnet und bildet zugleich die Grundlage für das Masterstudium „Bauingenieurwissenschaften“. Es beinhaltet bis dato keine BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen. [22] Im Masterstudiengang „Bauingenieurwissenschaften“ gibt es in der Vertiefungsrichtung „Baustoffe, Baubetrieb und Projektmanagement“ die Möglichkeit das Seminar „BIM – 5D-Planung und Gebäudemodellierung“ im Ausmaß von 2,5 ECTS-Punkten zu besuchen. Der Lehrinhalt dieses Kurses umfasst neben den theoretischen Grundlagen, wie BIM-Prozesse, BIM-Management und Kennenlernen der Standards, auch eine praktische Übung mit der Software Autodesk Revit. In dieser Übung wird in Form einer Gruppenarbeit ein Wohnhaus modelliert und in weiterer Folge eine Bauteilliste herausgegeben. Die universitäre Lehre wird durch einen Gastvortrag ergänzt, um Erfahrungen und Fallbeispiele aus der Praxis miteinzubeziehen. Die theoretischen Grundlagen über BIM werden von den Studierenden in Gruppen vorbereitet und im Rahmen von Referaten den anderen Studierenden präsentiert. [27]

Neben den beschriebenen Lehrveranstaltungen gibt es an jeder der drei Universitäten die Möglichkeit den Forschungsschwerpunkt von Projekt-, Bachelor- und Diplomarbeiten im Bereich BIM zu setzen und dadurch die Fähigkeiten und das Wissen in diesem Fachbereich zu vertiefen und auszubauen.

Eine übersichtliche Darstellung der BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen an österreichischen Universitäten ist in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt. Die ersten beiden Spalten beschreiben den Namen der Universität und der Studienrichtung. Anschließend wird zwischen Bachelor- und Masterstudiengang differenziert. Es folgen die genaue Bezeichnung der Lehrveranstaltung und die zugehörigen ECTS-Punkte. In der letzten Spalte wird zugeordnet, ob der Kurs als Pflichtfach oder als

Wahlfach absolviert werden muss oder kann. An der Technischen Universität Graz wird beispielsweise im Bachelor Bauingenieurwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen die Lehrveranstaltung Building Information Modeling, die einem Umfang von 4,0 ECTS-Punkten entspricht, als Wahlfach angeboten. Projekt-, Bachelor- und Diplomarbeiten werden in der Tabelle nicht aufgelistet.

Universität	Studienrichtung	Ausbildungsstufe	Lehrveranstaltung	ECTS	Modus	Quelle
TU Graz	Bauingenieurwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen	Bachelor	Building Information Modeling	4,0	Wahl	[100]
TU Graz	Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen	Master	Building Information Modeling 1	4,0	Wahl	[23]
TU Graz	Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen	Master	Building Information Modeling 2	4,5	Wahl	[23]
TU Wien	Bauingenieurwissenschaften	Master	Planungsprozesse mit BIM	3,0	Pflicht	[103]
TU Wien	Bauingenieurwissenschaften	Master	Integrated BIM Design Lab	8,0	Wahl	[110]
Universität Innsbruck	Bauingenieurwissenschaften	Master	BIM – 5D-Planung und Gebäudemodellierung	2,5	Wahl	[27]

**Tabelle 1: BIM-spezifische Ausbildungen an Universitäten in Österreich**

### 3.2.2 Fachhochschulen

In diesem Kapitel werden die BIM-spezifischen Lehrinhalte der drei Fachhochschulen FH Campus Wien, FH Kärnten und FH Oberösterreich beschrieben.

#### **FH Campus Wien**

Die Fachhochschule Campus Wien bietet den Bachelorstudiengang „Bauingenieurwesen – Baumanagement“ entweder als Vollzeitstudium oder berufsbegleitend an. Im Zuge der verpflichtenden Lehrveranstaltung „CAD UE“, dessen Arbeitsaufwand im Umfang von 3,0 ECTS-Punkten liegt, werden neben der Lehre von CAD auch die Grundzüge von BIM vorgestellt. Die Studierenden lernen zusätzlich zum Konstruieren auch die Arbeitsweise mit sogenannten „intelligenten Bauobjekten“ kennen. Bei einem fächerübergreifenden Projekt müssen die Studierenden in Gruppen ein Projekt vom Vorentwurf bis zur Angebotskalkulation abwickeln. Bei der Ausarbeitung dieses Projekts werden verschiedene Fähigkeiten in Bezug auf BIM, wie beispielsweise die kollaborative Arbeitsweise, geschult und ausgebildet. BIM wird in den Lehrveranstaltungen „Konstruktiver Entwurf 1“ mit 2,0 ECTS-Punkten, „Konstruktiver Entwurf 2“ mit 3,0 ECTS-Punkten und „Baukalkulation“ mit 1,0 ECTS-Punkt durch die integrierte Arbeitsweise und praktische Übungen ebenfalls aufgegriffen. [28]

Auf das Bachelorstudium baut der berufsbegleitende Masterlehrgang „Bauingenieurwesen – Baumanagement“ auf, welcher eine umfangreiche Ausbildung im Bereich BIM vorsieht. Im ersten Semester ist die Vorlesung „Building Information Modeling (BIM)“ mit 1,0 ECTS-Punkt inkludiert. Dabei handelt es sich um eine interaktive Vorlesung, in der auch Gastvorträge integriert sind. Im zweiten Semester besuchen die Studierenden die Übung „Integrale Planung 1“ mit den Themenschwerpunkten der konstruktiven Nachweisführung, Detailplanung, Bauablaufplanung und Vorkalkulation. Im dritten Semester folgt die Übung „Integrale Planung 2“, die Studierende der Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen gemeinsam absolvieren. Die Lehrinhalte umfassen den Entwurf, die Kalkulation, statische Nachweisführung, Terminplanung und das Führen bauphysikalischer Nachweise. Die ECTS-Punkte beider Übungen betragen jeweils sechs Punkte. In den Lehrveranstaltungen „Facility

Management“ und „Life-Cycle-Management“ im dritten Semester werden zusätzlich die jeweils relevanten Aspekte von BIM behandelt. Der Arbeitsaufwand der erstgenannten Lehrveranstaltung beträgt 2,0 ECTS-Punkte, jener der zweitgenannten Lehrveranstaltung 4,0 ECTS-Punkte.

Darüber hinaus bietet die Fachhochschule Campus Wien je nach Bedarf für ihre Studierenden, aber hauptsächlich für Interessenten aus der Praxis, auf freiwilliger Basis ein gebührenpflichtiges Seminar im Bereich BIM an. Das Bauseminar „Grundlagen des BIM Managements“ findet seit dem Wintersemester 2016 halbjährlich statt und ermöglicht den Studierenden sich weiterzubilden. Im Rahmen des Seminars werden die theoretischen Grundlagen von BIM vermittelt und in Form von praktischen Übungen der Umgang mit den Softwareprogrammen Autodesk Revit und ArchiCAD gelehrt. Das Seminar ist in unabhängige Module unterteilt. Dies bietet die Möglichkeit, je nach Interesse, einzelne Module zu besuchen. [29]

#### **FH Kärnten**

An der FH Kärnten wird im Bachelorstudiengang „Bauingenieurwesen“ die Lehrveranstaltung „CAD-3D“, welche einen Arbeitsaufwand von 2,0 ECTS-Punkten umfasst, angeboten. Zu den Lehrinhalten zählen die praktischen Grundlagen des dreidimensionalen Modellierens unter der Verwendung von geeigneten CAD-Programmen. Neben dem Visualisieren werden zudem der Datenimport und -export, sowie die Verknüpfung von geometrischen Daten im Softwareprogramm erlernt. Im dritten Semester wird die Lehrveranstaltungen „Building Information Modeling 1“ und im vierten Semester der Kurs „Building Information Modeling 2“ mit jeweils 2,0 ECTS-Punkten angeboten. Die Lehrveranstaltung „Building Information Modeling 1“ umfasst das Erstellen und Bearbeiten von virtuellen Gebäudemodellen mittels CAD-Programmen. Die Studierenden kennen somit die Grundlagen der Visualisierung mit BIM. Zudem lernen sie, wie den Bauteilen Detailinformationen zugeordnet, wie Massenermittlungen durchgeführt und Bauteillisten erzeugt werden. In der darauf aufbauenden Lehrveranstaltung „Building Information Modeling 2“ werden Simulationen und Analysen durchgeführt indem die Daten in einem digitalen Gebäudemodell vernetzt werden. Zudem ist die Lehrveranstaltung „EDV 1 – Applied Computing in Civil Engineering 1“ mit 1,5 ECTS-Punkten Teil des vierten Semesters. In jener lernen die Studierenden theoretische Grundlagen und den Umgang mit der digitalen Datenverarbeitung und Datenvisualisierung mit Microsoft Excel und Visio kennen. [30]

#### **FH Oberösterreich**

Im Bachelorstudium „Bauingenieurwesen im Hochbau“ an der FH Oberösterreich wird im Modul „CAD & Darstellende Geometrie“, welches 5,0 ECTS-Punkte umfasst, in zwei verpflichtenden Lehrveranstaltungen „CAD I & Darstellende Geometrie“ und „CAD II & Building Information Modeling“ das Themengebiet BIM behandelt. Neben der konventionellen Planerstellung lernen die Studierenden den Datenaustausch und die Schnittstellen der verschiedenen CAD und BIM-Programme, wie beispielsweise Autodesk Revit oder ArchiCAD. Auch im Masterstudium „Bauingenieurwesen im Hochbau“ wird das Thema BIM behandelt. Genaue Informationen bezüglich der Lehrinhalte und des Lernumfangs sind auf der Website nicht ersichtlich. [31]

Ebenso wie an österreichischen Universitäten gibt es auch an Fachhochschulen die Möglichkeit den Schwerpunkt von Projekt-, Bachelor-, und Diplomarbeiten im Bereich BIM zu schreiben. Das Angebot

an BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen an österreichischen Fachhochschulen ist in Tabelle 2 übersichtlich dargestellt. Der Aufbau der Tabelle 2 entspricht jenem der Tabelle 1.

Fachhochschule	Studienrichtung	Ausbildungsstufe	Lehrveranstaltung	ECTS	Modus	Quelle
FH Campus Wien	Bauingenieurwesen – Baumanagement	Bachelor	CAD UE	3,0	Pflicht	[28]
FH Campus Wien	Bauingenieurwesen – Baumanagement	Master	Building Information Modeling (BIM)	1,0	Pflicht	[29]
FH Campus Wien	Bauingenieurwesen – Baumanagement	Master	Integrale Planung 1	6,0	Pflicht	[29]
FH Campus Wien	Bauingenieurwesen – Baumanagement	Master	Integrale Planung 2	6,0	Pflicht	[29]
FH Kärnten	Bauingenieurwesen	Bachelor	CAD-3D	2,0	Pflicht	[30]
FH Kärnten	Bauingenieurwesen	Bachelor	Building Information Modeling 1	2,0	Pflicht	[30]
FH Kärnten	Bauingenieurwesen	Bachelor	Building Information Modeling 2	2,0	Pflicht	[30]
FH Kärnten	Bauingenieurwesen	Bachelor	EDV 1 – Applied Computing in Civil Engineering 1	1,5	Pflicht	[30]
FH Oberösterreich	Bauingenieurwesen im Hochbau	Bachelor	CAD & Darstellende Geometrie	5,0	Pflicht	[31]

**Tabelle 2: BIM-spezifische Ausbildungen an Fachhochschulen in Österreich**

### 3.2.3 Höhere Technische Lehranstalten

Zu den Berufsbildenden höheren Schulen zählen Höhere Technische Lehranstalten, sogenannte HTLs, mit diversen Ausbildungsschwerpunkten in technischen, gewerblichen und kunstgewerblichen Bereichen. Die Ausbildung, die für die vorliegende Diplomarbeit von Bedeutung ist, ist die fünfjährige HTL mit dem Schwerpunkt Bautechnik. In ganz Österreich gibt es 15 Schulen mit diesem Schwerpunkt. In den Lehrplänen der Höheren Lehranstalten für Bautechnik sind in den Unterrichtsfächern „Baukonstruktion“ und „Darstellung und Gestaltung“ grundlegende Kenntnisse über Planungs- und Entwurfsprozesse enthalten. Die Lehre erfolgt zum einen mit konventionellen Methoden, also händischen Skizzen und Handzeichnungen, zum anderen aber auch mithilfe von CAD Programmen. Das computergestützte Modellieren bildet ein wichtiges Fundament für die spätere Ausbildung im Bereich BIM. Wie umfangreich der dreidimensionale Planungsprozess mit Softwareprogrammen an HTLs geübt wird und ob einem grafischen Objekt zusätzlich technische Daten hinterlegt werden, ist von Institution zu Institution unterschiedlich. [16]

## 3.3 Deutschland

An Universitäten in Deutschland ist das Angebot an BIM-Kursen meist auf ein bis zwei Module begrenzt, wobei der Schwerpunkt auf der Lehre einer bestimmten Software liegt und BIM in der Regel nur in einem Teilaspekt im Lebenszyklus eines Gebäudes behandelt wird, nicht die Anwendung über den gesamten Lebenszyklus. [53]

Anhand einer Onlinerecherche wurde das Angebot an BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen in Deutschland untersucht. Aufgrund der zahlreichen Fachhochschulen und Universitäten mit der Fachrichtung Bauingenieurwesen, wird der Umfang der Recherche auf Universitäten mit einem umfangreichen baubetrieblichen Schwerpunkt beschränkt. In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt. Zusätzlich zu den in der Tabelle 3 aufgelisteten Lehrveranstaltungen können die Studierenden BIM als Schwerpunkt von Projekt-, Bachelor- oder Diplomarbeiten wählen. Aus der Darstellung kann entnommen werden, welche Universitäten im Rahmen der Recherche untersucht wurden. Es sind nur jene Lehrveranstaltungen aufgelistet, deren Inhalte sich ausschließlich

mit BIM befassen. Darüber hinaus wird BIM auch in weitere Kurse integriert. Diese scheinen jedoch nicht in der tabellarischen Auflistung auf. Bietet eine Universität keine BIM-spezifischen Kurse an, sind die betreffenden Felder mit einem Minus gekennzeichnet. Der Aufbau der Tabelle 3 entspricht jenem der Tabelle 2. Exemplarisch bietet die Bauhaus-Universität Weimar im Bachelorstudiengang die verpflichtende Lehrveranstaltung „Geometrische Modellierung und technische Darstellung“ im Umfang von 6,0 ECTS-Punkten an.

Universität	Studienrichtung	Ausbildungsstufe	Lehrveranstaltung	ECTS	Modus	Quelle
Bauhaus-Universität Weimar	Bauingenieurwesen	Bachelor	Geometrische Modellierung und technische Darstellung	6,0	Pflicht	[9]
Bauhaus-Universität Weimar	Management	Bachelor	Building Information Modeling	2,0	Pflicht	[8]
Bauhaus-Universität Weimar	Bauingenieurwesen	Master	Bauwerksinformationsmodelle (BIM)	6,0	Wahl	[7]
Karlsruher Institut für Technologie	Bauingenieurwesen	Bachelor	-	-	-	[50]
Karlsruher Institut für Technologie	Bauingenieurwesen	Master	Building Information Modeling (BIM)	6,0	Wahl	[51]
Leibniz Universität Hannover	Bau- und Umweltingenieurwissenschaften	Bachelor	Grundlagen der digitalen Bauwerksmodellierung	6,0	Wahl	[58]
Leibniz Universität Hannover	Konstruktiver Ingenieurbau	Master	Digitales Bauen	6,0	Wahl	[59]
Ruhr-Universität Bochum	Bauingenieurwesen	Bachelor	Building Information Modeling	5,0	Pflicht	[83]
Ruhr-Universität Bochum	Bauingenieurwesen	Master	-	-	-	[84]
RWTH Aachen University	Bauingenieurwesen	Bachelor	-	-	-	[86]
RWTH Aachen University	Bauingenieurwesen	Master	(Geo)Datenbanken	7,0	Wahl	[85]
RWTH Aachen University	Bauingenieurwesen	Master	2D/3D-Bauwerksinformationssysteme	3,0	Wahl	[85]
TU Berlin	Bauingenieurwesen	Bachelor	Building Information Modeling: Grundlagen und ausgewählte Beispiele	6,0	Wahl	[106]
TU Berlin	Bauingenieurwesen	Master	-	-	-	[105]
TU Darmstadt	Bauingenieurwesen und Geodäsie	Bachelor	Datenbanken für Ingenieurwissenschaften	6,0	Pflicht	[96]
TU Darmstadt	Bauingenieurwesen	Master	Digitales Bauprozessmanagement	3,0	Wahl	[97]
TU Darmstadt	Bauingenieurwesen	Master	Informatik im Bauwesen I	6,0	Wahl	[97]
TU Dortmund	Bauingenieurwesen	Bachelor	-	-	-	[98]
TU Dortmund	Konstruktiver Ingenieurbau	Master	Entwerfen und Planen mit BIM	3,0	Wahl	[99]
TU Dortmund	Konstruktiver Ingenieurbau	Master	Bauen und Betreiben mit BIM	3,0	Wahl	[99]
TU Dortmund	Bauprozessmanagement und Immobilienwirtschaft	Master	Bauen und Betreiben mit BIM	3,0	Wahl	[99]
TU Dresden	Bauingenieurwesen	Bachelor	Software Systeme (Systementwicklung)	8,0	Wahl	[108]
TU Dresden	Bauingenieurwesen	Master	BIM-Based Virtual Engineering Lab	4,0	Wahl	[107]
TU Kaiserslautern	Bauingenieurwesen	Bachelor	-	-	-	[101]
TU Kaiserslautern	Konstruktiver Ingenieurbau	Master	-	-	-	[102]
Universität der Bundeswehr München	Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften	Bachelor	-	-	-	[113]
Universität der Bundeswehr München	Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften	Master	-	-	-	[114]
Universität Kassel	Bauingenieurwesen	Bachelor	Modellbasierte Arbeitsweise im Baubetrieb	6,0	Wahl	[115]
Universität Kassel	Bauingenieurwesen	Master	Bauorganisation und Bauverfahren	12,0	Wahl	[116]
Universität Kassel	Bauingenieurwesen	Master	IT-unterstütztes Prozess- und Produktmanagement	6,0	Wahl	[116]
Universität Stuttgart	Bauingenieurwesen	Bachelor	-	-	-	[117]
Universität Stuttgart	Bauingenieurwesen	Master	Bauprozessmanagement in der Praxis	6,0	Wahl	[118]

**Tabelle 3: BIM-spezifische Ausbildungen in Deutschland**

Die Bauhaus-Universität Weimar und TU Darmstadt haben ihr BIM-spezifisches Lehrveranstaltungsangebot im Bauingenieurstudium in zwei Artikeln ausführlich beschrieben. Exemplarisch für den Aufbau von BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen wird das Hauptaugenmerk in den folgenden Abschnitten auf die Ausbildung an den beiden Universitäten gelegt und die Lerninhalte und Lernziele der verschiedenen Lehrveranstaltungen erläutert.

#### **3.3.1 Bauhaus-Universität Weimar**

Das BIM-spezifische Lehrveranstaltungsangebot an der Bauhaus-Universität Weimar wird anhand eines Artikels nach Hollermann et al. [41] beschrieben.

Um Building Information Modeling in die baubetriebliche Lehre der Bauhaus-Universität Weimar zu integrieren, wurde im Jahr 2013 die Lehrveranstaltung „BIM-basiertes Baumanagement“ entwickelt. Die Inhalte dieser Lehrveranstaltung werden in drei Schwerpunkte eingeteilt:

- Der erste Ausbildungsschwerpunkt umfasst die Lehre der theoretischen Grundlagen von BIM, die im Rahmen von Vorlesungen und Vorträgen von externen Referenten fortlaufend über das gesamte Semester vermittelt werden. Das theoretische Wissen wird mit Beispielen aus der Praxis verknüpft. In diesem Zusammenhang lernen die Studierenden fundamentale Grundzüge des Baubetriebs. Darüber hinaus werden die Potentiale, die sich durch die Nutzung von BIM ergeben, aufgezeigt.
- Der zweite Schwerpunkt umfasst das Ausarbeiten einer Semesteraufgabe. Unter Anwendung des erworbenen theoretischen Grundwissens, erlernen die Studierenden die praktischen Fähigkeiten und wesentliche Kenntnisse im Umgang mit Bauwerksinformationsmodellen. Die erste Aufgabe besteht darin, aus einer Palette an verschiedenen Softwareprogrammen, eigenständig Programme auszuwählen, die für die weitere Ausarbeitung der Semesteraufgabe, also die Bearbeitung und Analyse von Bauwerksinformationsmodellen, verwendet werden. Der zweite Schritt der Semesteraufgabe umfasst das Modellieren eines beliebigen, einfachen Bauwerks, welches im Anschluss in die zuvor ausgewählte Software importiert und in weiterer Folge analysiert wird. Mit Hilfe von Softwareprogrammen werden ein Terminplan erstellt, der Bauablauf visualisiert und die Baukosten ermittelt. Die Intention dieses zweiten Schrittes ist es, den Studierenden sukzessive die BIM-orientierte Arbeitsweise näher zu bringen. Für die dritte Aufgabe wird ein bereits vollständig generiertes, komplexes Bauwerksmodell zur Verfügung gestellt, welches eigenständig oder in Gruppen bearbeitet und analysiert wird. Das Ziel der Semesteraufgabe ist es, dass die Studierenden den Umgang mit, sowie die Verarbeitung und Aufarbeitung von umfangreichen Datenmengen lernen.
- Zusätzlich zur Semesteraufgabe wählen die Studierenden eine fachspezifische Fragestellung aus verschiedenen Themenvorschlägen, an Hand derer anschließend eigenständig verschiedene modellbasierte Lösungsmethoden erarbeitet und konzipiert werden. Im Rahmen eines Vortrags erläutern die Studierenden die möglichen Herangehensweisen für die jeweilige Fragestellung und veranschaulichen diese anhand eines Bauwerksmodells. In diesem dritten Ausbildungsschwerpunkt werden die Grundzüge des wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt.

Dabei wird relevante Literatur von verschiedenen Bezugsquellen gesammelt und Informationsmaterial in einem bestimmten Kontext gezielt aufgearbeitet und wiedergegeben. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse und Lösungsansätze in einer Seminararbeit aufbereitet.

Für diese BIM-orientierte Lehrveranstaltung mit den erläuterten drei Ausbildungsschwerpunkten hat die Universität eine interaktive Lernplattform zur Unterstützung der Studierenden entwickelt. Auf dieser werden alle, für die Lehrveranstaltung relevanten Dokumente, Lernvideos und Daten gesammelt und fortlaufend ergänzt. In dem inkludierten Diskussionsforum können Fragen an die Professoren gestellt werden und die Studierenden können untereinander auftretende Herausforderungen erörtern. Die interaktive Lernplattform wird auch für die Vergabe und Abgabe von Aufgaben verwendet.

Lehrveranstaltungsbewertungen haben ergeben, dass die Studierenden die Art des sukzessiven Lernens sehr befürworten, weil das umfangreiche und neuartige Thema schrittweise, aber dennoch umfassend, aufbereitet wird.

#### **3.3.2 Technische Universität Darmstadt**

Basis für die Beschreibung des Eingliederungsprozesses von BIM in den Lehrplan der TU Darmstadt bildet der Bericht von Motzko et al. [19]

Die TU Darmstadt hat ein dreistufiges Ausbildungskonzept entwickelt, um BIM in die Lehrpläne der verschiedenen Studiengänge zu integrieren. Die erste Stufe umfasst die Lehre von BIM in den Bachelorstudiengängen. In der zweiten Stufe wird darauf aufbauend BIM in den Masterstudiengängen gelehrt. Die dritte Stufe besteht aus dem eigenständigen Modul „Digitales Bauprozessmanagement“ im Master.

Zusätzlich zu den Lehrveranstaltungen können Studierende individuell entscheiden, die eigenen BIM-spezifischen Fähigkeiten auszubauen indem der Schwerpunkt der Bachelor-, Master- oder Diplomarbeit sowie Projektarbeit im Bereich BIM gewählt wird. Im Rahmen solcher Forschungsarbeiten werden meist Problemstellungen aus der Praxis wissenschaftlich aufgearbeitet, dadurch wird den Studierenden die Möglichkeit geboten theoretisches mit anwendungsorientiertem Wissen zu verknüpfen.

##### **Stufe 1: Bachelorstudium**

In den Bachelorstudiengängen Bauingenieurwesen, Umweltwissenschaften und Architektur werden grundlegende Methoden und Werkzeuge von BIM, sowie die modellorientierte Arbeitsweise auf theoretischer Basis vermittelt.

Im Rahmen der baubetrieblichen Lehre, welche an der TU Darmstadt die Themenschwerpunkte Verfahrenstechnik, Baurecht, ökonomische Aspekte sowie Termin- und Ressourcenplanung umfasst, wird BIM in die Lehre integriert. Im Umfang von zwei Lehrveranstaltungen, welche zu einem Modul zusammengefasst werden, lernen die Studierenden prozessautomatisierte Arbeitsvorbereitung und datenbankorientierte Arbeitsweisen kennen. Darüber hinaus werden die Fähigkeiten für kollaborative Zusammenarbeit gestärkt. Die erste Lehrveranstaltung beinhaltet die Lehre der theoretischen Grundlagen der Bauwerksinformationsmodellierung im Rahmen einer Vorlesung, jedoch noch nicht

den anwendungsorientierten Umgang mit Softwareprogrammen. Im zweiten Teil des Moduls werden anhand eines digitalen Gebäudemodells, welches den Studierenden zur Verfügung gestellt wird, Basiskenntnisse über die Technologien und Arbeitsweisen der Bauwerksinformationsmodellierung gelehrt. Die Studierenden führen eigenständig fundamentale Analysen an diesem Bauwerksmodell durch. Im Rahmen von Gruppenarbeiten und anhand des theoretischen Hintergrundwissens, ist es die Aufgabe konventionelle baubetriebliche Arbeitsweisen und Planungsmethoden mit BIM-basierten Methoden zu vergleichen und diese anschließend zu verbessern, um eine effektive BIM-orientierte Arbeitsweise zu entwickeln. Dieses Modul soll die Studierenden im Bachelor mit der BIM-Methode vertraut machen und darauf vorbereiten, diese später in Unternehmen praktisch umzusetzen.

#### **Stufe 2: Masterstudium**

Kernthema der BIM-orientierten Ausbildung im Masterstudium ist die Vertiefung der modellorientierten Arbeitsweise auf Basis bestehender Bauwerksinformationsmodelle durch den anwendungsorientierten und praxisbezogenen Umgang mit computergestützten Programmen. Die Studierenden erhalten ein vorgefertigtes Bauwerksmodell einer Autobahnbrücke, in welchem baubetriebliche Informationen, wie Aufwandswerte, Baustoffeigenschaften und Kostenkennwerte hinterlegt sind. Mit dem Modell arbeiten die Studierenden im Rahmen von Gruppenarbeiten verschiedene Übungen in den Bereichen der Terminplanung, Kalkulation und Bauverfahrenstechnik aus. Die Ergebnisse werden wiederum mit dem digitalen Datenmodell verknüpft, sodass dieses stetig weiterentwickelt und ausgebaut wird. Während dieses Bearbeitungsprozesses erhalten die Studierenden kontinuierlich Unterstützung durch das Lehrpersonal des Institutes. Zu Beginn des Moduls werden in einer Einführungsvorlesung das Modell und die Software vorgestellt und die Arbeitsschritte der Übungsaufgaben erklärt.

#### **Stufe 3: Digitales Bauprozessmanagement als eigenes Modul**

Für besonders interessierte Studierende im Master, die ihre Fähigkeiten im Bereich BIM ausbauen und optimieren möchten, besteht die Möglichkeit am Seminar „Digitales Bauprozessmanagement“ teilzunehmen und sich dabei am Institut für Baubetrieb an aktuellen Forschungsfragen auf dem Gebiet „Digitalisierung des Bauwesens“ zu beteiligen.

Im Seminar erarbeiten die Studierenden relevante Themenschwerpunkte, welche im Rahmen von Vorträgen den anderen Studierenden präsentiert werden. Dieses theoretische Wissen wird durch praktische Übungseinheiten, in denen die Anwendung von Modellierungswerkzeugen und die Interaktion der unterschiedlichen Programme erlernt werden, erweitert. Auf Basis der erlernten Grundlagen, dem Stand der Technik und aktuellen Forschungsergebnissen erarbeiten die Studierenden eine zentrale Forschungsfrage. Diese Forschungsfrage wird in mehrere Komponenten unterteilt und während des Seminars in Gruppen ausgearbeitet. Unterstützung erhalten die Studierenden von Mitarbeitern des Instituts für Baubetrieb in Sprechstunden. Den Leistungsnachweis des Seminars bildet ein Vortrag, in welchem die Forschungsergebnisse vorgestellt werden. Abschließend findet ein Fachgespräch statt.

In weiterer Folge lernen die Studierenden in diesem Modul digitale Bauwerksmodelle eigenständig zu generieren, weiterzuentwickeln und untereinander zu vergleichen, sowie die verschiedenen

Arbeitsweisen zu bewerten. Das Bestreben ist es, eine komplette Abbildung des Bauwerks zu generieren, welches den Baufortschritt fortlaufend automatisch digital abbildet. Aus der Verknüpfung des digitalen Gebäudemodells mit dem aktuellen Bauzustand sollen wertvolle Daten und Informationen, die für Steuerungszwecke bei den laufenden Arbeiten und bei der Abrechnung relevant sind, abgeleitet werden. Die beiden Hauptaspekte dieses Moduls umfassen somit das automatische Ableiten von Informationen aus Bilddaten und die automatische Zuordnung von räumlichen und zeitlichen Informationen zu einem bereits bestehenden Modell.

## **3.4 Schweiz**

Neben der ETH Zürich gibt es in der Schweiz sieben Fachhochschulen, die eine Ausbildung im Fachbereich Bauingenieurwesen oder Bautechnik anbieten. Dazu zählen die Berner Fachhochschule, die Fachhochschule Nordwestschweiz, die Fachhochschule Ostschweiz, die University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, die Hochschule Luzern, die Fachhochschule Westschweiz sowie die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Die Lehrveranstaltungen an der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg werden zum Großteil auf Französisch angeboten. In diesem Kapitel wird das Angebot der BIM-spezifischen Lehre in den Bachelor- und Masterstudiengängen an schweizer Fachhochschulen beschrieben.

### **3.4.1 Bachelorstudium an Fachhochschulen**

In der Schweiz gibt es sechs Fachhochschulen, die einen deutschsprachigen Bachelorstudiengang im Fachbereich Bauingenieurwesen anbieten. Von diesen bieten die Hochschule Luzern und die FH Nordwestschweiz im jeweiligen Bachelorstudiengang Lehrveranstaltungen mit dem Themenschwerpunkt BIM an.

An der Hochschule Luzern können Studierende im Bachelorstudiengang Bautechnik das Wahlmodul „BIM (Building Information Modelling)“ mit 3,0 ECTS-Punkten absolvieren. Gegenstand dieser Vorlesung ist das Modellieren und Visualisieren von 3D- und 4D-Modellen. Des Weiteren werden die Anwendungen von BIM in den Planungsprozessen gelehrt sowie statische und bauphysikalische Gebäudesimulationen durchgeführt. [40]

An der FH Nordwestschweiz wird ebenfalls ein Wahlfach „BIM“, welches aus einer Kombination aus Vorlesung und Übung besteht, im Bachelorstudium Bauingenieurwesen angeboten. Die Lehrinhalte umfassen allgemeine Begriffsbestimmungen von BIM sowie die Lehre von BIM als Methode und als Prozess. Die Studierenden lernen einfache Modellprüfungen zu vollziehen und Modelle zu koordinieren. Die Interoperabilität der Daten, die Kooperationsbereitschaft der Beteiligten sowie deren Aufgaben und Leistungsbilder sind Gegenstand der Lehrveranstaltung. Wichtiger Bestandteil der Ausbildung ist ebenfalls der Bezug zur Anwendung von BIM in der Praxis. [69]

### **3.4.2 Masterstudium an Fachhochschulen**

Die sieben Fachhochschulen der Schweiz haben gemeinsam das Masterprogramm „Master of Science in Engineering“, kurz MSE, entwickelt. Dieses Masterprogramm besteht aus sieben möglichen Fachgebieten, wobei sich eines davon „Civil Engineering & Building Technology (CEBT)“ nennt und

die Ausbildung für ingenieurwissenschaftliche Berufe beschreibt. Der Masterstudiengang dieser Fachrichtung kann entweder als Vollzeitstudium oder berufsbegleitend absolviert werden und wird in drei Abschnitte eingeteilt, bestehend aus zentralen Modulen, einer frei gewählten fachlichen Vertiefungsrichtung und der abschließenden Masterarbeit.

Die zentralen Module werden für alle MSE Studierenden hauptsächlich in Zürich und Lausanne, vereinzelt in Bern oder Manno angeboten. Die Studierenden können aus einem Lehrveranstaltungskatalog je nach eigenem Interesse eine Auswahl an Kursen zusammenstellen. In diesem zentralen Modulkatalog wird die Lehrveranstaltung „Building Information Modelling“ angeboten, eine Vorlesung kombiniert mit Übungslektionen. [70]

Dieses Modul „Building Information Modelling“ mit dem Umfang von 3,0 ECTS-Punkten ist in drei Teile gegliedert, wobei sich der erste Teil mit den theoretischen Grundlagen von BIM befasst. Die Studierenden lernen in einer Einführung die Entwicklung von BIM, die damit zusammenhängenden Veränderungen im Planungsprozess und die allgemeine Definition von BIM kennen. Der Unterschied zwischen CAD und BIM wird aufgezeigt, die verschiedenen Dimensionen von BIM erläutert und BIM-Plattformen und -Werkzeuge vorgestellt. Abschließend wird die Planungsmethodik der BIM-basierten Arbeitsweise erläutert. Die Studierenden lernen Team- und Prozessmanagement im BIM-Umfeld und die Zusammenarbeit in interdisziplinären Projekten. Der zweite Teil des BIM-Moduls befasst sich mit Datenmodellierung, BIM-Standards, dem Datenaustausch und einer bildbasierten Datenerfassung mit Laserscanning. Weiters wird der Einsatz von BIM bei Infrastrukturbauten, wie beispielsweise Straßen, Brücken und Tunnel, sowie in der Geologie und Geotechnik gelehrt. Im abschließenden dritten Teil erfahren die Studierenden etwas über die vielseitige Anwendung von BIM in den verschiedenen Fachbereichen des Bauwesens, wie Architektur, Tragwerksplanung, Holzbau, Bauphysik, Facility Management etc. Ziel dieses Moduls „Building Information Modeling“ ist es, dass die Studierenden die Grundlagen, Methoden, Anwendungen und Werkzeuge kennen lernen und bei einfachen Projekten anwenden können. [66]

Die fachliche Vertiefung des MSE kann an einer der fünf Fachhochschulen Zürich, Nordwestschweiz, Ostschweiz, Bern oder Luzern absolviert werden, wobei die Fachhochschulen unterschiedliche Kernkomponenten und Ausbildungsschwerpunkte haben. Das Thema der abschließenden Masterarbeit steht im Zusammenhang mit der frei gewählten fachlichen Vertiefungsrichtung.

### **3.5 Vereinigtes Königreich**

Bedeutend und aufschlussreich für die Ausarbeitung dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Situation und Herangehensweise im Vereinigten Königreich, BIM in die universitäre Lehre zu implementieren. Die Regierung im Vereinigten Königreich hat im Jahr 2011 die sogenannte „Government Construction Strategy“ veröffentlicht, mit der Vorgabe, dass bis 2016 bei allen öffentlichen Bauwerken 3D-BIM als vorgegebener Level anzuwenden ist. Dies soll eine Effizienzsteigerung in der britischen Bauwirtschaft bewirken. Das detaillierte Programm umfasst die Vorgabe ab 2016 BIM Level 2 in allen öffentlichen Bauwerken anzuwenden. Des Weiteren sollen in der Baubranche bis 2025 um 50 % weniger Treibhausgasemissionen produziert werden und die gesamten Lebenszykluskosten um bis zu 33 % reduziert werden. Diese rechtliche Vorgabe hat veranlasst, dass die Universitäten und Hochschulen

im Vereinigten Königreich ihren Lehrplan anpassen und erweitern, um der Nachfrage in der Bauwirtschaft an zukünftigen Fachkräften mit Kenntnissen im Bereich BIM, nachzukommen. [2]

Als Unterstützung für den Implementierungsprozess von BIM in den Lehrplan wurde das „BIM Academic Forum“ (BAF) gegründet. Das Ziel dieser Institution ist es, zum einen die Lehre von BIM zu fördern und zum anderen in Zusammenarbeit mit der Forschung die essentiellen Aspekte von BIM herauszufinden. Das BAF dient als Bindeglied zwischen den Interessen und Anforderungen der Bauwirtschaft und der Bildungsinstitutionen. [45] Der Fokus des BAF liegt auf der Entwicklung eines „BIM Academic Framework“, also auf der Erarbeitung eines akademischen Rahmens für die Lehre von BIM, sowohl in Bachelor- als auch in Masterstudiengängen. Dabei werden die potentiellen Lernziele in der universitären Lehre untersucht und analysiert bis zu welchem Level BIM gelehrt werden soll. [112]

Derzeit werden im Vereinigten Königreich BIM-Kurse hauptsächlich in Masterprogrammen angeboten. Nur in sehr wenigen Bachelorstudienrichtungen ist BIM im Lehrplan integriert. Es gibt spezielle Masterprogramme mit dem Ausbildungsschwerpunkt in Building Information Modeling, wie beispielsweise der Studiengang „Building Information Modelling Management“ an der Middlesex University in London oder „Construction Project Management with BIM“ an der Northumbria University in Newcastle. Bei diesen Masterausbildungen ist auffallend, dass die Studiengänge als Fernstudium angeboten werden und der Unterricht nicht auf dem Universitätsgelände selbst stattfindet. Diese fortschrittliche Form des Unterrichts richtet sich hauptsächlich an Studierende, die nicht im Ort leben, oder an Berufstätige, die sich im Bereich BIM fortbilden möchten und von der Flexibilität hinsichtlich der Art des Lernens und vor allem von der freien Zeiteinteilung, profitieren. Diese webbasierte Lernmethode lehrt eigenständiges Arbeiten und Lernen, wobei die Studierenden ihre Computerfähigkeiten ausbauen und den Umgang mit der sich rasch verändernden Informationstechnologie lernen. Die Masterstudiengänge mit BIM im Vereinigten Königreich sind meist in drei Stufen aufgebaut: die erste Stufe befasst sich mit dem technischen BIM-Management und man erhält den Leistungsnachweis „Postgraduate Certificate“. Die Lehrinhalte der zweiten Stufe ist das operative BIM-Management mit dem Leistungsnachweis „Postgraduate Diploma“. Das Themengebiet der dritten Stufe ist das strategische BIM-Management mit dem Masterabschluss „MSc“. [2]

Im Vereinigten Königreich gibt es zahlreiche Universitäten, die BIM in ihren Lehrplan integriert haben. Die beiden Universitäten Coventry und Loughborough haben umfangreiche Berichte, in denen ihre BIM-spezifische Ausbildung beschrieben und erläutert wird, verfasst. Die Ausbildungskonzepte dieser beiden Universitäten werden nachfolgend erläutert.

#### **3.5.1 Universität Coventry**

Die Beschreibung der Erfahrungen der Universität Coventry, BIM in den Lehrplan zu integrieren, basiert auf dem Artikel von McGough et al. [67]

Eine der ersten Universitäten im Vereinigten Königreich, die BIM in den Lehrplan eingegliedert hat, ist die Universität Coventry. Mit dem Ziel, das Bewusstsein über BIM zu stärken und die BIM-spezifischen Fähigkeiten der Absolventen zu verbessern, haben die Fachbereiche Bauingenieurwesen und

Architektur eine Strategie entwickelt, um BIM in die Lehrpläne zu integrieren. Die Strategie wird in zwei Implementierungsphasen aufgeteilt. Diese beiden Phasen werden nachfolgend erläutert.

#### **Erste Implementierungsphase**

Die Erstellung und Einführung eines sogenannten Projekt-Implementierungs-Plans (PIP) war die erste Initiative an der Universität Coventry BIM zu lehren, mit dem Ziel, BIM in das Bewusstsein der Studierenden der Architektur und des Bauingenieurwesens zu rücken und ihnen diese Arbeitsmethode näher zu bringen. Im Rahmen eines einmalig angebotenen Kurses, der sich über zwei Jahre erstreckte, arbeiteten Studierende von verschiedenen Fachbereichen in Gruppen mit dem Projekt-Implementierungs-Plan gemeinsam an einem Projekt. Die Lerninhalte dieses Kurses beschränkten sich auf das Informationsmanagement. In dieser ersten Phase wurden keine Konstruktionsprozesse gelehrt, vielmehr lernten die Studierenden kollaborative und integrierte Arbeitsmethoden kennen. Darüber hinaus wurden inhaltliche Grundlagen und wichtige Zusammenhänge von BIM im Rahmen von Vorträgen vermittelt. Diese erste Initiative war eine Übergangslösung für jene Studierende, die das eigenständige BIM-Modul, welches erst zu einem späteren Zeitpunkt entwickelt wurde, nicht absolvieren konnten.

Diese Art der Implementierung wurde deshalb gewählt, weil zum damaligen Zeitpunkt der Einführung von BIM in den Lehrplan, der Begriff BIM in der Baubranche nicht weit verbreitet war und nur begrenzt praktische Methoden von BIM angewendet wurden. Durch Vorlesungen an der Universität sollte BIM an Aufmerksamkeit gewinnen, das Bewusstsein über diese Methode gestärkt werden und die Verbreitung in der Baubranche beschleunigt werden.

Im Laufe der Zeit hat sich die Anwendung von BIM in der regionalen Baubranche verbreitet, wobei sich in diesem Zug die Möglichkeit ergab, angewandte Verfahren und Methoden aus der Wirtschaft in die Kurse an der Universität zu integrieren. Zudem konnten die Erkenntnisse aus dem bisherigen Kurs eingebaut und neue Schwerpunkte gesetzt werden.

#### **Zweite Implementierungsphase**

Ziel dieser zweiten Phase war es, aus den Erkenntnissen des Kurses der ersten Phase des Implementierungsprozesses ein BIM-Modul zu entwickeln und als fixer Bestandteil in die Bachelorkurse zu integrieren. Der erste Schritt der Neugestaltung bestand darin, herauszufinden bis zu welchem Grad BIM an Universitäten gelehrt werden soll und welches Niveau an Wissen über BIM die Studierenden mit der Ausbildung erreichen sollen. Das Festlegen eines solchen Levels ist eine diffizile Aufgabe und erfordert auch fortlaufend eine Anpassung der Lehre. Anhand von Analysen und Bewertungen wurden die Schwerpunkte der BIM-Ausbildung auf die kollaborativen BIM-Prozesse, welche bei der Arbeit an einem ganzheitlichen BIM-Projekt gebraucht werden, und den Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten gelegt. Die Studierenden lernen das Arbeiten in einer BIM-Umgebung, das Teilen von Informationen, die Interoperabilität der Daten und eine adäquate Dokumentation, was zur Verbesserung des Informationsaustausches der verschiedenen Beteiligten beiträgt. Die vorrangigen Richtungen der BIM-Ausbildungsstruktur sind die BIM Koordination und Kooperation. Die Studierenden werden darauf geschult BIM primär in ihrem Bewusstsein zu verankern, die Arbeitsweise zu verinnerlichen und die Projektinformationen der

verschiedenen Teams in ein interoperables Planungspaket zusammenzufügen. Die drei Kernkomponenten architektonisches Design, strukturelles Design und Nachhaltigkeit sind für eine ressourcenschonende Bauweise nahtlos ineinander zu integriert. Anschließend werden die Lehrinhalte der BIM-bezogenen Ausbildung an der Universität Coventry beschrieben.

#### *Erstes Studienjahr Bachelorstudium*

Zu Beginn des ersten Jahres sollen die Studierenden Kompetenzen für die gemeinschaftliche Zusammenarbeit entwickeln, ohne spezielle Bezugnahme auf BIM, da diese kollaborative Arbeitsweise eine fundamentale Komponente im Umgang mit BIM darstellt. Zu einem späteren Zeitpunkt im ersten Studienjahr werden die grundlegenden Prinzipien von BIM nähergebracht. Der gesamte BIM-Lernprozess an der Universität wird unterstützt durch 3D-Modelle.

#### *Zweites Studienjahr Bachelorstudium*

Im zweiten und dritten Jahr liegt das Augenmerk auf dem Modellieren von zwei größeren Bauwerken. Der Detaillierungsgrad des Modells ist auf einem hohen Niveau, sodass eine Vielzahl an Abfragen, Analysen und Navigationen von den Studierenden durchgeführt werden kann. Es werden in allen konstruktiven und ingenieurmäßigen Kursen Software-Workshops angeboten um die technischen Komponenten von BIM zu lernen. Es wird ein BIM-Modell eines einfachen Wohngebäudes entworfen und erstellt. Dabei lernen die Studierenden die Prozesse im Umgang mit dem Modell. Dazu zählen das Analysieren und Steuern des Modells sowie Kosten- und Mengenermittlungen und das Durchführen einer Energiebilanz eines Gebäudes.

#### *Jahr drei in den Bachelorstudiengängen*

Die Studierenden, die bei der ersten Phase des Implementierungsprozesses am BIM-Projekt teilgenommen haben, wurden beauftragt den PIP zu überarbeiten und zu formalisieren. Dieser optimierte Plan stellt wiederum Arbeits- und Informationsaustauschprotokolle für die Studierenden des ersten Studienjahrs dar. Der Schwerpunkt zu Beginn liegt auf dem Festigen der Informationsaustauschprotokolle, sodass das gesamte Team die vereinbarten Prozesse und Richtlinien kennen lernt. Dieser kompakte PIP soll die Lernkurve im dritten Jahr reduzieren. Dadurch, dass die Studierenden bereits vor dem Einstieg in das dritte Jahr mit dem PIP und in diesem Zusammenhang auch mit den BIM-Arbeits- und Informationsaustauschprozessen und -protokollen vertraut sind, entwickeln die Studierenden im letzten Jahr ein besseres Verständnis für BIM.

Im dritten Jahr der Ausbildung arbeiten die Studierenden der verschiedenen Fachgebiete zusammen an einem „gemeinschaftlichen Projekt“. Es werden Arbeitsabläufe und Prozesse aus der Baubranche realitätsnah wiedergegeben. Die Studierenden entwickeln für herkömmliche Szenarien der Baubranche alternative, effektivere Methoden mittels der Anwendung von BIM indem sie ihr gelerntes Wissen aus früheren Kursen anwenden und verknüpfen.

Ein Hauptelement dieses Projekts ist die Einführung der Rolle des BIM-Koordinators und die damit im Zusammenhang stehenden Koordinationsaufgaben. Die Aufgabe des BIM-Koordinators ist es, sicherzustellen, dass die Teammitglieder die Inhalte immer auf dem neuesten Stand halten und zu einem elektronischen, zusammenhängenden Datenstamm zusammenfügen. Die Aufgabe den

Koordinator zu unterstützen soll den anderen Teammitgliedern helfen ihre eigene Rolle besser zu verstehen. Zusätzlich ist das Ziel des Koordinators, den Arbeitsaufwand aller Teammitglieder und vor allem jenen des leitenden Konstrukteurs hinsichtlich Informationsbearbeitung und -austausch, zu erleichtern.

Jede Gruppe erhält ein 3D-Basismodell eines bestehenden Gebäudes für die beiden Programme Autodesk Revit und SketchUp. Die Studierenden der verschiedenen Studienrichtungen erlangen im Kurs unterschiedliche Softwarekompetenzen. Der Ansatz von „Open BIM“ in der Ausbildung soll das Bewusstsein und die Relevanz für die Interoperabilität und Freigabe von Daten stärken. Die Gruppen erstellen Pläne ihres Objekts und nehmen Änderungen am bestehende 3D-Modell vor. Die Hauptaufgaben bestehen zum einen darin, einen Anbau an das existierende Gebäude zu planen und dadurch die Fähigkeiten von neuen Konstruktionsprozessen zu verbessern und zum andern darin, die kohlenstoffarme Sanierung und Modernisierung eines bestehenden Gebäudes durchzuführen. Der erste Schritt bei der Sanierung ist die Analyse und Beurteilung der Energieeffizienz des Bestandgebäudes und anschließend der Vergleich mit ähnlichen Bauwerken. Mithilfe einer Energiebilanz gilt es die Bereiche, die Verbesserungspotential aufweisen, zu identifizieren und in weiterer Folge in effektiver Zusammenarbeit der verschiedenen Teams eine Verbesserungsstrategie hinsichtlich Funktionalität und Energieeffizienz für kohlenstoffarme Sanierungen zu entwickeln. In diesem Bereich der Zusammenarbeit spielt der Datenaustausch eine entscheidende Rolle und die Studierenden erkennen die Wichtigkeit von interoperablen Projektdaten. BIM-Informationsprozesse und Modellbildung sind wichtige Werkzeuge für die Analyse und Verbesserung bestehender Gebäude in Bezug auf Facility Management und Energieeffizienz. Die Aufgabe eine Nachhaltigkeitsstrategie zu entwickeln erfordert das Engagement aller Teammitglieder aus den verschiedenen Fachbereichen. Dabei lernen die Studierenden, welche Konsequenzen ihre Entscheidungen auf den ökologischen Aspekt eines Gebäudes haben und das Bewusstsein der Absolventen für ressourcenschonende Bauweisen wird erhöht. Mit den beiden Herangehensweisen, der Planung eines Anbaus und das Durchführen einer kohlenstoffarmen Sanierung, soll das gesamte Spektrum von BIM inklusive praktischem Bezug abgedeckt werden. Die Aufgabe im zweiten Kernbereich besteht darin einen Anbau mit einem optimalen architektonischen Design zu entwerfen und planen.

Die Aufgabe der Bauingenieure in dieser Gruppenarbeit ist es, ein Tragwerk für den Anbau zu entwerfen. Die Studierenden haben bei der Wahl der Software freie Hand. Am Ende der Berechnungen müssen die Daten in eine BIM-Plattform übergeführt werden, was ein großes Verständnis für die Interoperabilität von Softwareprogrammen erfordert. Dabei erhalten die Studierenden Unterstützung von den Assistenten des Instituts für Baubetrieb und Tutorials werden zur Verfügung gestellt. Der Vorteil eines 3D-Gebäudemodells ist, dass es direkt in der BIM-Software analysiert werden kann. Jedes Bauingenieurteam bekommt bestimmte Aufgaben ihre Tragwerksentwürfe weiter in die Zeichnungen des Architekten zu integrieren, was das Verständnis über die Vorteile und Fähigkeiten in der Verwendung von parametrischen 3D-Softwareprogrammen stärkt. Der Umgang mit einer 3D-Konstruktionssoftware führt zu einer Reduktion der Kosten, die Widerspruchsfreiheit der Konstruktion steigt und die Programmierfähigkeiten der Studierenden nimmt zu.

In diesem ganzheitlichen Projekt lernen die Teilnehmer wie die Tragwerkspläne und die Architekturpläne unabhängig vom Dateiformat zusammengefügt werden können. Der Datenimport und -export wird mit der Verwendung von IFC zunehmend erleichtert. Die Studierenden entwickeln ein Verständnis für die Interoperabilität von Daten und für die Anforderungen an den Entwurfsprozess. Jedes Modell wird von den Lehrpersonen hinsichtlich Effektivität auf die Entwurfsentscheidungen bewertet, optimiert und analysiert. Das Ziel dieser Aufgabe ist es, sich von den getrennten, isolierten Entwurfsmethoden zu verabschieden und die kollaborative und gemeinschaftliche Arbeitsumgebung zu nutzen. Studierende sollen Wissen und Fähigkeiten entwickeln, BIM in den verschiedenen Berufssparten der Baubranche zu integrieren. Im Rahmen dieses gemeinschaftlichen Projekts werden neben den technischen auch die persönlichen Kompetenzen und Qualifikationen ausgebaut. Während BIM für verschiedene Projekte und Prozesse angewendet wird, werden kritisches Denken, eine analytische Herangehensweise und fächerübergreifende Fähigkeiten geschult. Das ist der Schlüssel zu weiteren Entwicklungen in der Baubranche und trägt dazu bei die Anwendung von BIM in der Wirtschaft zu verbreiten.

Die Erstellung eines solchen BIM-Modelle hat zahlreiche Vorteile: Lehrer von verschiedenen Studienrichtungen können verschiedene Konzepte für Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen visualisieren. Studierende haben die Möglichkeit sich aktiv in Vorträgen und Tutoriums einzubringen, indem sie die BIM Modelle nutzen. Darüber hinaus können die generierten Modelle als Lehrmittel für andere Module weiterverwendet werden. Beispielsweise können Betriebseinrichtungen, wie Heizungs- oder Elektroinstallationen, detailliert aufgezeigt und im Gesamtkontext aufgearbeitet werden.

#### **Resümee**

Der Erfahrungsbericht der Universität Coventry hat ergeben, dass engagierte Dienstleister, die Lehrmaterialien und Standards zur Verfügung stellen, den Prozess der Adoption von BIM beschleunigen. Sie unterstützen die Universität bei der Aufgabe künftige Fachleute im Bereich BIM auszubilden. Die Universität Coventry wird weiterhin die Effektivität der Ausbildung analysieren und bewerten und neue Integrationsstrategien entwickeln, um die fächerübergreifenden Fähigkeiten der Studierenden bei Arbeitsabläufen und Bauprozessen zu verbessern. Es sollen effiziente Entwurfsprozesse, die Kosten, Zeit und Ressourcen sparen sowie zur Kohlenstoffdioxidreduktion beitragen, entwickelt werden.

Zukünftig sollen BIM-Module für Masterstudiengänge entwickelt werden, um den Studierenden weitere Möglichkeiten zu bieten, ihre strategischen Fähigkeiten in BIM-Prozessen zu verbessern.

#### **3.5.2 Universität Loughborough**

Der Druck, der durch die Regierung des Vereinigten Königreichs auf die Universitäten ausgeübt wurde, hat auch die Universität Loughborough dazu veranlasst ihre Studienpläne zu adaptieren. Die Erläuterung des Implementierungsprozesses von BIM in die Curricula der Bachelor- und Masterprogramme basiert auf dem Artikel von Adamu und Thorpe [2] und wird in weiterer Folge beschrieben.

Die Fakultät „Civil and Building Engineering“ an der Universität Loughborough bietet vier Bachelorprogramme und fünf Masterprogramme an, in die BIM integriert wurde. Dazu zählen beispielsweise Architektur und Konstruktion, Bauingenieurwesen, Projektmanagement etc. Die Tatsache, dass alle diese Ausbildungsprogramme zu einer gemeinschaftlichen Fakultät gehören, machte es möglich, die Lehrpläne zu überarbeiten und fächerübergreifende Gruppenarbeiten sowie gemeinschaftlichen Unterricht einzuführen.

Zunächst wurde in Form von Literaturrecherchen und Befragungen der Bedarf, die Erwartungen und Anforderungen an die BIM-orientierte Ausbildung an der Universität untersucht. Diese Recherche bildete die Grundlage für die Überarbeitung der Curricula.

Um die Umstellung der Lehrpläne zu erleichtern, wurde BIM schrittweise, in drei Phasen, in die Curricula der verschiedenen Studienrichtungen aufgenommen. Dadurch hatten die Professoren genügend Zeit die notwendigen Unterrichtsmaterialien und Lehreinheiten vorzubereiten. Die drei Phasen der Implementierung werden nachfolgend beschrieben.

#### **Implementierungsphase 1: Einbetten von BIM in die wesentlichen Kurse**

In der ersten Implementierungsphase wurden im bestehenden Lehrplan Module bestimmt, die eine Implementierung von BIM erforderten. Module, die folgende Aspekte beinhalten, wurden als prioritär eingestuft:

- multidisziplinäre Kurse, die an eine breite Menge von Studierenden gerichtet sind
- Kurse mit den Schwerpunkten Konstruktion und Hochbau
- Kurse mit dem Ausbildungsbereich Information und Kommunikationstechnik (IKT), wie computergestütztes Rechnen oder Modellieren und
- Kurse, die in einem kritischen Lernstadium stattfinden, wie im ersten oder letzten Semester.

Existierende Module mit einer niedrigen Priorität wurden zu einem späteren Zeitpunkt angepasst, was nicht gezwungenermaßen im Rahmen der dreistufigen Adaptierung stattgefunden hat.

Den Modulen, die als relevant eingestuft wurden, wurden in einem weiteren Schritt zusätzliche BIM-bezogene Ausbildungskomponenten hinzugefügt. Dazu zählen theoretische Grundlagen, konzeptionelle Hintergründe und kollaborative Prozesse. Des Weiteren werden aber auch Dokumente, wie behördliche Richtlinien, Protokolle sowie Konzepte aus der Wirtschaft, verwendet, die wichtige Lehrinhalte für BIM darstellen. Im Rahmen von Präsentationen stellen Fachkräfte aus der Baubranche ihre Forschungsergebnisse vor, zeigen in Form von konkreten Projekten, wie BIM in der Praxis angewendet wird und vermitteln so fundamentales Wissen und Verständnis.

Das Einbetten von BIM in bestehende Module führte teilweise dazu, dass sich Lehrinhalte von zwei separaten Kursen überschneiden haben, wodurch Module zusammengefasst werden konnten. Dadurch wird das integrierte, fächerübergreifende Lernen gefördert. Beispielsweise konnten grafische Aspekte wie CAD mit Themengebieten der Baustoffkunde und Bausysteme kombiniert werden. Der Vorteil dieser Zusammenlegung ist, dass die Studierenden lernen die grafischen Bauteile mit zusätzlichen

technischen Informationen, wie Materialien, U-Werten, Brandschutzmaßnahmen etc. auszustatten und zu ergänzen.

#### **Implementierungsphase 2: „Mission BIMpossible“ Workshop**

Diese zweite Phase war an Studierende im letzten Ausbildungsjahr und an jene, die das Praktikum absolvierten, gerichtet, da diese den ersten Teil der neu eingeführten BIM-bezogenen Ausbildung versäumten. Im Rahmen eines fünftägigen Workshops, der in den Ferien stattfand, wurden grundlegendes Wissen und Basisfähigkeiten im Umgang mit BIM vermittelt. Der Workshop ermöglichte den Studierenden sich mit Fachpersonal aus der Baubranche auszutauschen und wichtige Kontakte zu knüpfen. Mithilfe von Video-Tutorials konnten die eigenen praktischen Fähigkeiten beim Modellieren und Visualisieren von Bauwerksmodellen ausgebaut werden. Die abschließende Aufgabe bestand darin, in einer Gruppenarbeit ein 4D-Modell eines dreigeschossigen Gebäudes zu modellieren. Beim Workshop erlangten die Teilnehmer die Fähigkeit, mit BIM zu arbeiten, wodurch sie routinierter im Umgang mit den Programmen wurden, was sich schließlich positiv auf die beruflichen Qualifikationen auswirkte.

Der Workshop wurde zusätzlich dafür verwendet die verschiedenen BIM-Technologien zu untersuchen sowie unterschiedliche Lehrmethoden und -mittel zu testen, die zukünftig für die BIM-bezogene Lehre an der Universität Loughborough verwendet werden sollten. Die Bewertungskriterien für die Auswahl von BIM-Softwareprogrammen umfassten Komponenten, wie jährliche Kosten, Anzahl der verfügbaren Lizenzen, einzuhaltende Richtlinien und Standards, kostenlose Verfügbarkeit von Studentenversionen, 3D-Modellvergleiche, Interoperabilität von Daten, Verfügbarkeit von allgemeinen Lernmaterialien sowie die breite Anwendung und Annahme der Software in der Baubranche. Nach dem Workshop erfolgte eine umfangreiche Analyse hinsichtlich der Lehrmethode mittels Video-Tutorials. Die Untersuchungen ergaben, dass 72 % aller befragten Studierenden das Lernen mit Video-Tutorials bevorzugen. Diese positive Bewertung ist darauf zurückzuführen, dass einerseits der Zeitpunkt des Lernens selbst bestimmt werden kann und andererseits die Möglichkeit besteht Videos öfters anzusehen, um die Lehrinhalte besser verstehen zu können. 17 % der Befragten haben keine Präferenz für eine Lernmethode angegeben und nur 11 % bevorzugen klassische Lernmaterialien in Papierform, wie beispielsweise Skripten, Bücher oder Handouts. Der erfolgreiche und gelungene Einsatz von Video-Tutorials als Lernmethode führte dazu, dass diese als reguläres Lerninstrument eingeführt wurde. Wobei zu Beginn der Ausbildung noch Arbeitsblätter als Lehrmethode bevorzugt werden und erst in späteren Semestern, in denen unabhängiges und eigenständiges lernen von den Studierenden präferiert wird, auf videospezifische Unterrichtsmethoden zurückgegriffen wird.

#### **Implementierungsphase 3: Neue BIM-Module**

Das Ziel der dritten Phase war es, BIM-spezifische Module zu entwickeln. Zusätzlich zu den Veränderungen in den bestehenden Modulen wurden neue Module mit Schwerpunkt BIM entwickelt, da verschiedene Aspekte von BIM zu umfangreich waren und nicht in bestehende Kurse integriert werden konnten oder weil es sich um neue, eigenständige Themengebiete gehandelt hat, die keinem bestehenden Stoffgebiet zugeordnet werden konnten. Als zu umfangreiche und komplexe Stoffgebiete

galten beispielsweise die Verwendung von Clash Detections oder der Umgang mit einem gemeinsamen Datenstamm.

In diesem Zug wurden drei neue Module entwickelt, die für Studierende mehrerer Studienrichtungen zugänglich sind. Das erste Modul im Bachelor umfasst die Koordination von 3D-Modellen inklusive datenbankgesteuerter Prüfung der BIM-basierten Daten und Clash Detections. Die anderen beiden Module, im Bachelor und Master, bestehen aus einer Kombination von digitalen Arbeitsabläufen, wie das Erstellen von 3D, 4D und 5D-Modellen, sowie kollaborativen Arbeitstechnologien, wie der Umgang mit gemeinsamen Datenumgebungen und Arbeitsbereichen. Der Fokus dieser digitalen Workflow-Module liegt auf der multidisziplinären Nutzung von gemeinsamen Datenumgebungen. Dazu zählen spezifische Kenntnisse über Normen sowie Standards für Dateien und deren Namenskonventionen, Zugriffsrechte und die Sicherheit der Daten, die Datenqualität der BIM-Modelle sowie eine einheitliche und korrekte Dokumentation.

Ein klassisches Team bei einer Gruppenarbeit besteht aus vier bis fünf Personen wobei drei oder vier davon ein digitales Gebäudemodell erstellen und das Modell mit Informationen, wie beispielsweise Kosten und Terminen, versorgen. Das letzte Mitglied übernimmt die Aufgaben eines BIM-Managers und koordiniert den Informationsfluss und die Modelle. Wer welche Funktion im Team übernimmt wird im Team selbst bestimmt. So kann jeder die bevorzugte Rolle erlernen.

Nach Ende des Implementierungsprozesses erhält jeder Studierende der Universität Loughborough die Möglichkeit einer vierstufigen Ausbildung im Bereich BIM. Die ersten drei Stufen dieses BIM-Ausbildungsmodells umfassen die Bachelorstudiengänge, die vierte und letzte Stufe die Masterstudiengänge.

#### **Erste Ausbildungsstufe**

Die erste Stufe „Anfänger: BIM Modellierer“ umfasst die Lehre über grundlegende Prinzipien und Konzepte von BIM. Die Studierenden lernen die Anwendungen von BIM-Technologien, also das Modellieren und den Umgang mit BIM-spezifischen Daten. Dabei wird ein Verständnis für die Notwendigkeit von interoperablen Daten mit kompatiblen Formaten entwickelt und die Bedeutung der gemeinschaftlichen Zusammenarbeit aufgezeigt. Mit dieser Ausbildung, die sich über ein Jahr erstreckt, erlangen die Studierenden bereits ein breites Spektrum an BIM-spezifischem Wissen, welches einen Großteil des Anforderungsprofils der Bauwirtschaft abdeckt.

#### **Zweite Ausbildungsstufe**

Der Ausbildungsschwerpunkt in der zweiten Stufe „Fortgeschritten: BIM-Analytiker“ liegt im Verständnis von BIM Richtlinien und Standards. Das Erstellen von interdisziplinären Bauwerksinformationsmodellen, Koordinieren von BIM-Modellen und Durchführen von Clash Detections steht im Vordergrund.

#### **Dritte Ausbildungsstufe**

In der dritten Stufe „Selbststudium: Praktikum“ erfolgt die industriebasierte Anwendung von BIM, in welcher Studierende die Anwendungsgebiete und den Bedarf von BIM in der Baubranche

kennenlernen. In Form dieser beruflichen Weiterbildung werden die praktischen Fähigkeiten optimiert und die Chancen und Probleme bei der praktischen Anwendung von BIM aufgezeigt.

#### **Vierte Ausbildungsstufe**

In der vierten und letzten Stufe „Vertiefung: BIM Manager“ verwenden die Studierenden BIM in ihrer Diplomarbeit und in ihrem Abschlussprojekt. Das Ausarbeiten der wissenschaftlichen Forschungsfrage im jeweiligen Spezialgebiet erfolgt unter der Anwendung von BIM. Zu den Aufgaben gehören beispielsweise die Erstellung und Verwaltung einer Datenstruktur sowie der strategische Datenaustausch.

#### **Resümee**

Nach der dreistufigen Phase der Implementierung von BIM in den Lehrplan an der Universität Loughborough, kann auf Basis von Einschätzungen der Lehrkörper und der Studierenden, die an der BIM-spezifischen Ausbildung teilgenommen haben, von einer erfolgreichen Einbettung gesprochen werden. Das Angebot der entwickelten BIM-Kurse wird von einer beachtlichen Anzahl an Studierenden von unterschiedlichen Studienrichtungen genutzt.

Die Universität Coventry hat im Vergleich zur Universität Loughborough bereits zu einem früheren Zeitpunkt begonnen BIM in den Lehrplan zu integrieren. Zu dieser Zeit war die Anwendung von BIM in der britischen Bauwirtschaft nur in einem sehr geringen Ausmaß verbreitet, weshalb die Universität keine klare Richtung und Vorgabe hatte, worauf die Schwerpunkte der Lehre gesetzt werden sollten. Aus diesem Grund führte die Universität Coventry BIM sukzessive ein, indem zunächst nur die Grundlagen gelehrt wurden. Mit der Zeit entwickelten sich in der Bauwirtschaft klarere Vorstellungen von den Anwendungsgebieten von BIM. Darauf aufbauend wurde wiederum die Ausbildung der Universität adaptiert, konkretisiert und ausgebaut. Die Ausbildung im Bereich BIM hat die Verbreitung von BIM in den Bauunternehmen gefördert.

Während der Implementierungsprozess an der Universität Coventry langsam voranschritt und die Lehrinhalte fortlaufend angepasst werden mussten, konnte die Universität Loughborough wenige Jahre später von Beginn an einen kompletten Implementierungsplan für Bachelor- und Masterstudiengänge mit genauen Zielen der Lehre erstellen, weil sie konkrete Vorgaben von Seiten der Bauwirtschaft und der Regierung erhielt.

### **3.6 Schweden**

In Schweden gibt es zwei verschiedene Arten von Universitäten, sogenannte „Universities“ und „University Colleges“. Erstere sind vergleichbar mit Universitäten in Österreich, welche die drei Abschlussmöglichkeiten: Bachelor, Master und Doktor anbieten. „University Colleges“ hingegen sind anwendungsorientierte Ausbildungen mit dem Fokus auf den Bachelorabschluss. Nur in manchen Fällen sind Master- und Doktorabschlüsse möglich. In Schweden gibt es sechs Masterprogramme und 23 Bachelorprogramme mit Schwerpunkt im Bauingenieurwesen sowie zwei Masterprogramme als Kombination aus Architektur und Bauingenieurwesen.

Eine Nachforschung aus dem Jahr 2013 hat ergeben, dass die meisten Universitäten und University Colleges BIM bereits in ihren Lehrplan integriert haben. Es gibt lediglich einzelne wenige Ausnahmen. Es wurde untersucht, wie hoch der Prozentsatz an BIM-orientierten Kursen bezogen auf die ECTS-Punkte im gesamten Curriculum liegt. Die Ergebnisse zeigen, dass BIM durchschnittlich in etwa neun Prozent der Masterprogramme im Bereich Bauingenieurwesen gelehrt wird, in Bachelorstudiengängen durchschnittlich mit elf Prozent. Differenziert man zwischen Universitäten und University Colleges, haben die Untersuchungen ergeben, dass der Prozentsatz bei University Colleges durchschnittlich bei 13 % liegt, im Vergleich dazu liegt die Lehre von BIM bei Universitäten durchschnittlich nur bei acht Prozent. Das zeigt, dass Universitäten durchschnittlich weniger Kurse anbieten, die BIM lehren, als University Colleges. Die höchste Einbindung von BIM in den Lehrplan hat, laut den Untersuchungen von Niclas Andersson [4], die im Süden gelegene Universität Malmö im Bachelorstudium Bauingenieurwesen, 39 % aller ECTS-Punkte sind BIM-orientiert.

Interessant ist die Erkenntnis, dass in 86 % aller BIM Kurse, bezogen auf die ECTS-Punkte, der Schwerpunkt der Ausbildung auf der Konstruktion von Bauwerken, wie das Modellieren von 2D- bzw. 3D-Objekten, liegt. Folglich werden nur 14 % der Ausbildung in den Bereichen Städteplanung und Landschaftsbau genutzt. [4]

Die Universität Jönköping differenziert sich von den zahlreichen Universitäten in Schweden und sticht durch eine spezielle und einzigartige BIM-spezifische Ausbildung heraus. BIM ist nicht in das Bauingenieurstudium integriert, vielmehr gibt es ein eigenständiges Masterstudienprogramm im Bereich BIM, welches im folgenden Abschnitt erläutert wird.

#### **Universität Jönköping**

An der Universität Jönköping in Schweden wird seit dem Frühling 2017 ein zweijähriges Masterstudium „Sustainable Building Information Management“ angeboten. Der Abschluss der Ausbildung ist der Titel „Master of Science“. Das Studium ist einzigartig und wird in dieser Form in Schweden kein weiteres Mal angeboten. Die Unterrichtssprache ist Englisch und der Unterricht basiert auf internationalen Standards. Aus diesem Grund ist dieser Masterstudiengang für Bauingenieurstudierende auf nationaler und internationaler Ebene reizvoll und vielversprechend. Der Schwerpunkt dieses Vollzeitstudiums ist die Produktentwicklung und das Informationsmanagement für nachhaltiges Bauen. Das Ziel dieser Ausbildung ist es, den Umgang mit modernen digitalen Technologien, wie BIM und Geographic Information System (GIS), zu lernen. Es werden BIM-Strategien aufgezeigt, sowie die Koordination und das Management von BIM-Projekten gelehrt. Das Modellieren, Simulieren, Analysieren, Optimieren, Visualisieren, Kommunizieren, prozessorientierte Arbeiten und Organisieren sowie das Informationsmanagement und der Informationsaustausch zählen zu den Hauptlehrinhalten des Studiums. Die Absolventen sind in den Bereichen Informationstechnologie und Computermanagement hervorragend ausgebildet und können beispielsweise als BIM-Ingenieur, BIM-Koordinator oder als BIM-Manager in einem Bauunternehmen fußfassen. [47]

### 3.7 Finnland

Für eine erfolgreiche Implementierung von BIM in den Lehrplan des Bauingenieurstudiums ist es erforderlich, das Lehrpersonal an Universitäten beim Implementierungsprozess zu unterstützen. Die Helsinki Metropolia University of Applied Science hat eine interessante und, wie sich herausgestellt hat, erfolgreiche Herangehensweise, Dozenten und Professoren der Universität zu motivieren, BIM in die aktuelle Lehre zu integrieren, indem aktiv in die Fort- und Weiterbildung der Lehrpersonen investiert wurde. Die detaillierte Herangehensweise der Helsinki Metropolia University of Applied Science wird nachfolgend erläutert.

#### **Helsinki Metropolia University of Applied Science**

Die Helsinki Metropolia University ist die größte Universität der Angewandten Wissenschaften in Finnland. In der Studienrichtung Bauingenieurwesen und technische Gebäudeausrüstung ist einer der Ausbildungsschwerpunkte die Lehre von BIM. Zum einen werden gesonderte, eigenständige BIM-Kurse im Bachelor und im Master angeboten, zum anderen wird BIM in bestehende Kurse integriert.

Bei der Umstrukturierung des regulären fachspezifischen Unterrichts zu einem kombinierten Unterricht mit BIM, bekamen die auszubildenden Lehrpersonen zunächst selbst die Möglichkeit, sich im Bereich BIM weiterzubilden. In Form von praktischen Übungseinheiten, Gastvorträgen von Spezialisten der Baubranche und mithilfe von Darbietungen von BIM-Softwareanbietern wurde den Kursteilnehmern gezeigt, wie BIM im eigenen Fachbereich integriert werden kann. Am Ende des Kurses musste jeder Teilnehmer in Form eines Projektes eine Lerneinheit im jeweiligen Fachgebiet vorbereiten. Die Aufgabe bestand darin, BIM im eigenen, bestehenden Lehrplan einzugliedern und als effektives Werkzeug zu verwenden, um die herkömmliche Lehre zu unterstützen. Diese Fortbildung motivierte das beteiligte Lehrpersonal, ihre bisherigen Lehrmethoden zu überarbeiten, zu erneuern und BIM in den bestehenden Unterricht zu integrieren. [94]

### 3.8 Dänemark

Eine ausgeglichene Abstimmung der BIM-spezifischen Lehrinhalte ist die Grundlage, dass Studierende Freude am Lernen von BIM haben. Die Lehrveranstaltungsbewertungen an der Technical University of Denmark zeigen, wie schwierig es ist, die richtige Balance zwischen theoretischen Grundlagen und praktischen Anwendungsbeispielen zu finden. Nachfolgend wird die Situation an der Technical University of Denmark anhand des Artikels der beiden Autoren Karlshøj und Vestergaard [49] beschrieben.

#### **Technical University of Denmark**

In Dänemark wird seit dem Jahr 2007 die Verwendung von BIM-Modellen mit IFC-Formaten bei staatlich finanzierten Bauprojekten vorgeschrieben. Dies war der Grund, warum die Technical University of Denmark BIM in den Lehrplan aufgenommen hat.

Die Technical University of Denmark bietet verschiedene Lehrveranstaltungen mit Open BIM an. In diesen Kursen wird das Wissen über Analysen, Bewertungen und die Nutzung von Open BIM gelehrt.

Die Studierenden lernen Kernelemente von BIM, wie BIM Collaboration Format (BCF), Information Deliver Manual (IDM) und IFC. Ziel ist es, das Konzept von BIM und den Austausch von digitalen, modellbasierten Informationen zu veranschaulichen.

Analysen aus dem Jahr 2016 haben gezeigt, dass die Anzahl an Studierenden, die BIM-Kurse besuchen, stetig steigt, was wiederum zeigt, dass das Interesse vorhanden und in den vergangenen Jahren gestiegen ist.

An der Technical University of Denmark werden fünf verschiedene Studiengänge angeboten, in denen BIM gelehrt wird. Dazu zählen: Bachelor of Engineering in Building Design, Bachelor und Master in Building Design sowie Bachelor und Master in Civil Engineering. Auch für Doktoranden wird ein Kurs mit Open BIM mit der Bezeichnung „Process and Data Modeling for the Built Environment“ angeboten.

Neben den regulären Kursen können auf freiwilliger Basis weitere Lehrveranstaltungen besucht werden in denen Open BIM gelehrt wird. Die Studierenden sollen das Konzept von BIM verwenden, um konkrete ingenieurwissenschaftliche Probleme zu lösen. Es besteht die Möglichkeit, die BIM-Methode in Bachelor-Projekten anzuwenden oder die Masterarbeit über oder mit Open BIM zu schreiben. Durch die Ausbildungsmöglichkeiten im Bereich BIM entwickeln die Studierenden Interesse daran die zahlreichen Möglichkeiten des BIM-Konzeptes zu erforschen und weiterzuentwickeln. Zusätzlich werden die aktuellen Herausforderungen in der Baubranche aufgezeigt. Alle Studierenden erhalten eine Einführung in das Open BIM-Konzept. All jene, die an fortgeschrittenen BIM-Kursen teilnehmen, werden zudem mit dem Datenaustauschformat IFC vertraut.

Das Feedback der Studierenden der Technical University of Denmark über die angebotenen BIM-Kurse zeigt, dass manche von ihnen die derzeitige Lehre als zu abstrakt und zu wenig anschaulich wahrnehmen. Die Anwendung von bestimmten BIM-Tools und mehr Übungseinheiten würde bevorzugt werden. Derzeit liegt der Schwerpunkt der BIM Ausbildung in der Interoperabilität der Daten, es werden die Herausforderungen beim Datenaustausch gelehrt und verschiedene Datenaustauschformate, wie IFC, vorgestellt, was viele als zu komplex empfinden. Die derzeitigen BIM-Kurse erfordern viel Engagement, Eigeninitiative und Interesse der Studierenden, damit sie das Konzept von IFC verstehen.

### **3.9 Niederlande**

Peterson et al. [79] beschreibt in einem wissenschaftlichen Artikel die BIM-spezifische Lehrveranstaltung „Integriertes Projektmanagement“ an der Twente University in den Niederlanden. Die Lehrveranstaltung ist ein exemplarisches Beispiel für einen außergewöhnlich praxisorientierten Unterricht, da die Studierenden ein umfangreiches Übungsprojekt eigenständig ausarbeiten. Beginnend bei der Auswahl von Softwareprogrammen, über das dreidimensionale Modellieren und das Erstellen einer Kalkulation und eines Terminplans, lernen die Studierenden die integrierte Arbeitsweise des BIM. Im folgenden Abschnitt werden die genauen Lehrinhalte der Lehrveranstaltung und die Aufgaben der Studierenden erläutert. Daraus werden bedeutende Informationen bezüglich einer übungs- und praxisorientierten BIM-Ausbildung gewonnen, die für die Erstellung einer Handlungsempfehlung für die TU Wien relevant sind.

#### **Twente University**

An der Twente University in den Niederlanden wurden im Rahmen eines Kurses BIM-basierte Technologien in das Masterprogramm „Integriertes Projektmanagement“ eingeführt. In diesem Kurs bearbeiten die Teilnehmer ein umfangreiches, realitätsnahes Projekt, in welchem die drei Projektmanagementaspekte Leistungsumfang, Zeit und Kosten untereinander zu vernetzen und verknüpfen sind. Die Basis für die Ausarbeitung des Projekts bildet ein dreidimensionales BIM-Modell, welches von den Studierenden eigenständig erstellt wird. In diesem Projekt werden eigens aktuelle technologische Möglichkeiten erforscht, um die Projektdaten zu integrieren und einen integrierten Projektplan für ein reales Projekt zu entwickeln. Zu Beginn der Übung werden alle erforderlichen Projektunterlagen, die als Informationsgrundlage für die Erstellung des integrierten Projektplans dienen, zu Verfügung gestellt.

Zu Beginn des Kurses lernen die Studierenden mittels Vorlesungen Grundlagen über BIM, dessen Konzepte und die diversen Aspekte des integrierten Projektmanagements. Aufgeteilt in Gruppen evaluieren die Studierenden zunächst verschiedene, von der Universität zur Verfügung gestellten, Projektmanagementprogramme, wobei für jeden Teilaspekt der Gruppenarbeit Modell, Leistungsumfang, Termin, Kosten und das Zusammenfügen von Daten und eine Software auszuwählen ist. Dieses Softwarepaket wird in weiterer Folge für die Erstellung und Ausarbeitung des integrierten Projektplans herangezogen. Vor jeder Teilaufgabe erfolgt eine theoretische Einführung, um die Bearbeitung der Übung zu erleichtern.

Für die Steuerung der einzelnen Schritte der Projektabwicklung wird zunächst ein integrierter Projektplan erstellt. Die erste Aufgabe besteht darin, aus Zeichnungen und Plänen ein 3D-Gebäudemodell zu erstellen. Für die Ausarbeitung dieser Aufgaben wird das Bauwerk in die einzelnen Gebäudekomponenten gegliedert und in einem Produktstrukturplan dargestellt. Jedem Gruppenmitglied werden bestimmte Komponenten des Projektstrukturplans zugeteilt, die vom jeweiligen Zuständigen in einem dreidimensionalen Modell modelliert und generiert werden. Werden alle Teilmodelle zu einem zusammengefügt, ergibt sich ein vollständiges dreidimensionales Bauwerksinformationsmodell. Weil wichtige Informationen und Details in der 2D-Zeichnung fehlen, die für das Modellieren des 3D-Modells erforderlich sind, ist es die Aufgabe der Studierenden plausible Annahmen zu treffen, um ein vollständiges 3D-Modell für die weitere Projektbearbeitung zu erstellen.

Die nächsten beiden Schritte sind die Erstellung einer Kalkulation, basierend auf den aus dem Bauwerksmodell entnommen Massen. Darauf aufbauend wird in weiterer Folge ein Bauzeitplan entwickelt. Die Studierenden analysieren und verbessern den Konstruktionsablauf, indem geometrische Komponenten des Projekts und der Zeitplan mithilfe von 4D-Softwareprogrammen verknüpft werden. Daraus ergibt sich eine räumliche Darstellung des Bauablaufs, wodurch Konfliktpotentiale erkannt und gelöst werden.

Am Ende des Projekts werden drei Änderungsaufträge in den Bereichen Arbeitsumfang, Zeit und Kosten vorgegeben, die in den integrierten Projektplan aufzunehmen sind. Die erste Änderung umfasst die Konstruktion. Untersucht wird der Einfluss, der die Vergrößerung der Flächen von Abstellräumen um 30 % auf die Gesamtkosten und die Gesamtbauzeit des Gebäudes hat. Das zweite

einzuarbeitende Szenario ist ein kompletter Baustopp in der dritten und vierten Woche nach Baubeginn. Es werden die Auswirkungen auf die Kosten und den Zeitplan untersucht. Die dritte Aufgabe ist, es den Baufortschritt mithilfe einer Forcierung zu beschleunigen und die beiden verlorenen Wochen wieder aufzuholen. Es ist zu bewerten, ob das zur Verfügung gestellte Budget ausreicht, um den ursprünglich geplanten Fertigstellungstermin einzuhalten. Das Hauptziel dieser Aufgabe ist es, zu beurteilen, wie gut die Studierenden jeden Teilaspekt des Projektmanagements in den Gesamtprojektplan integrieren.

Die einzelnen Schritte bei der Erstellung des integrierten Projektplans werden in einem Bericht zusammengefasst und die Strategien, die für das Ausarbeiten der Aufgaben angewendet werden, beschrieben. Die Erstellung eines 4D-Modells, eines Line-of-Balance Zeitplans und eines Cashflow-Diagramms ermöglicht eine sinnvolle Analyse der erstellten Projektpläne.

Generell sind für die Ausarbeitung eines Projektplans BIM-basierte Anwendungen nicht zwingend erforderlich. Jedoch wären die Aufgabenstellungen, vor allem die Mengenermittlung, zu umfangreich für die zur Verfügung stehende Zeit. Die strukturierte Arbeitsweise beim Modellieren mit BIM hilft den Studierenden Projektzeichnungen zu verstehen und fördert das Verständnis für technische und geometrische Aspekte von Gebäuden. Diese Fähigkeiten sind hilfreich für die Erstellung eines geeigneten Kostenstrukturplans, wobei die Gebäudekomponenten in verschiedene Kostenkategorien eingeteilt werden, um den Arbeitsaufwand zu strukturieren. Neben der Zeitersparnis durch ein rascheres und vor allem besseres Verständnis des Gebäudekonzepts, reduzieren die automatischen Funktionen der Massenermittlung die Zeit, die sonst für manuelle Berechnungen der Mengen investiert werden müssten. Dadurch können sich die Studierenden auf die wichtigen, konzeptionellen Aufgaben im Zusammenhang mit Projektdetails konzentrieren, für die ohne Einsatz von BIM nicht ausreichend Zeit vorhanden wäre.

### **3.10 Amerika**

Ein im Jahre 2012 veröffentlichter Bericht des Unternehmens McGraw-Hill Construction zeigt, dass die Anwendung und Verbreitung von BIM in der nordamerikanischen Wirtschaft rasch zunimmt. Aus diesem Grund bieten die Bildungseinrichtungen in Amerika bereits BIM-Kurse für Bachelor- und Masterstudiengänge an oder sind bemüht, solche Kurse zu entwickeln. Der Ausbildungsschwerpunkt von bestehenden Kursen liegt meist auf der Anwendung von bestimmten Softwarepaketen. Die Ausbildung für BIM-Management und das Arbeiten in einem kollaborativen BIM-Umfeld ist nicht weit verbreitet.

Eine Studie aus dem Jahr 2011 hat ergeben, dass die Studienrichtungen der Architektur im Verhältnis zu den Studiengängen des Bauprozessmanagements und Maschinenbaus zu einem früheren Zeitpunkt mit der Einführung von BIM-bezogenen Kursen begonnen haben und nach wie vor den größeren Anteil an BIM-bezogenen Kursen aufweisen. [24]

In Amerika gibt es vier Universitäten, die ihre persönlichen Erfahrungen mit der Integration von BIM in den Lehrplan des Bauingenieurstudiums sowie den Aufbau der BIM-spezifischen Lehrveranstaltungen ausführlich beschrieben haben. Dazu zählen die Colorado State University, das Illinois Institute of

Technology, die University of Texas at Austin sowie die Stanford University. Es werden die konkreten Lehrinhalte und die damit in Verbindung stehenden Lernziele der Lehrveranstaltungen in den Bachelor- und in den Masterstudiengängen ausführlich beschrieben. Aus der Recherche in Amerika kann ein direkter Vergleich gezogen werden, wie unterschiedlich Lehrveranstaltungen aufgebaut werden können, worauf die unterschiedlichen Schwerpunkte der Ausbildung gesetzt werden können, in welchem Umfang BIM in einen Lehrplan integriert werden kann und welche Lehrmethoden angewendet werden können. In der Colorado State University beispielsweise gibt es neben eigenständigen BIM-Kursen auch bestehende Lehrveranstaltungen, in denen die BIM-bezogene Arbeitsweise integriert wird und der Fokus liegt auf der experimentellen Lehrmethode. Das Illinois Institute of Technology bietet jeweils einen unabhängigen Bachelor- und Masterkurs an. Die University of Texas at Austin stützt sich bei der Lehre auf prozessbezogene Lehransätze und Beurteilungsgrundsätze. Was alle Universitäten verbindet, ist die direkte Kooperation mit der Bauwirtschaft und das Einbinden von Fachkräften in die universitäre Lehre. In den folgenden Kapiteln werden die Erfahrungen der vier Universitäten ausführlich erläutert.

#### **3.10.1 Colorado State University**

Nachfolgend wird der Prozess der Implementierung an der Colorado State University beschrieben, welcher auf dem Artikel von Clevenger et al. [20] basiert.

Für die Implementierung von Building Information Modeling an der Colorado State University wurde zunächst eine Studierendenbefragung durchgeführt, um herauszufinden, wie BIM bestmöglich in die universitäre Lehre integriert werden soll und was sich die Studierenden von der Lehre erwarten. Zur Auswahl standen folgende drei Strategien für die Implementierung von BIM in den Lehrplan:

- Die Entwicklung eines neuen, eigenständigen BIM-Kurses, in welchem die Anwendung von Softwareprogrammen erlernt wird und die verschiedenen, potentiellen Anwendungsbereiche der Technologie beschrieben werden.
- Die Integration von BIM in verschiedene bestehende Lehrveranstaltungen mit dem Ziel die Effizienzsteigerung von BIM als neuen Arbeitsprozess im jeweiligen Fachbereich zu veranschaulichen und den direkten Zusammenhang zu konventionellen Arbeitsmethoden aufzuzeigen.
- Eine Kombination der beiden oben genannten Ansätze.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Studierenden die dritte Auswahlmöglichkeit der Umfrage, BIM in bestehende Lehrveranstaltungen zu integrieren und zusätzlich eigenständige Kurse zu entwickeln, bevorzugen.

Der erste Schritt BIM in bestehende Kurse zu integrieren bestand darin, jene Kurse mit den Kerngebieten Vorentwurf, Kostenschätzung, Terminplanung, Auftragsvergabe, Baustofflehre und Bauablaufplanung, zu überarbeiten und neue BIM-bezogene Lehrinhalte einzugliedern. Dieser Implementierungsvorgang wurde durch Unternehmen der Baubranche, die mit der Universität kooperieren, maßgebend unterstützt, indem Lernressourcen, online Lernsoftwareprogramme, Lizenzen und BIM-Modelle von den Betrieben zur Verfügung gestellt wurden. Ziel der Integration von

BIM in bestehende Kurse war, die Effektivität der kommunikationstechnologischen Ausbildung zu verbessern, indem visuelle und interaktive Lerntechniken eingesetzt wurden. Gleichzeitig sollten die Studierenden für BIM-basierte Arbeitsprozesse und Chancen, die sich durch die Anwendung von BIM ergeben, in der Baubranche motiviert werden.

In einem weiteren Schritt entwickelte die Colorado State University eigenständige, unabhängige BIM-Lehrveranstaltungen, in denen BIM-bezogene Lehrinhalte, die nicht in bestehende Kurse integriert werden konnten, untergebracht wurden.

Als wichtige Bestandteile der Lehre von BIM gelten Erfahrungswerte und Praxisbeispiele aus der Baubranche, da diese zur Demonstration des Einflusses von BIM-basierten Prozessen in der Praxis herangezogen werden können. Es werden jedoch nicht Fallbeispiele wiedergegeben, vielmehr erforschen die Studierenden eigenständig Methoden der Informationsein- und -ausgabe und lernen dadurch Analysen und Entscheidungen kritisch zu hinterfragen. Durch das breite Anwendungsspektrum von BIM für Analysen und Visualisierungen wird BIM an der Colorado State University für die Lehre von grundlegenden Tragwerksverbindungen und Auflagerkonstruktionen in der Tragwerkslehre herangezogen. Mithilfe dreidimensionaler Darstellungen werden die Unterschiede der Tragkonstruktionen aufgezeigt, Gebäudeerweiterungen vorgenommen und drehbare Visualisierungen animiert. Der Vorteil liegt darin, dass die Studierenden ein besseres Gespür für Dimensionen und verschiedene Werkstoffe entwickeln sowie die theoretischen Grundlagen direkt mit praktischen Anwendungsbeispielen verknüpfen können. Die Entwicklung der BIM-bezogenen Lehrinhalte und Übungsaufgaben in Zusammenarbeit mit der Baubranche ermöglicht die Nutzung hochwertiger Übungsmodelle. Die Fakultäten der Universität und die Studierenden arbeiten in direkter Kooperation mit der Bauwirtschaft, um Prozessdiagramme, 3D-Modelle, Kostenzusammenhänge und interaktive Übungen zu erarbeiten, die BIM als Arbeitsprozess für komplexe, realitätsnahe Bauprojekte illustrieren.

Für die Lehre von BIM sind verschiedene Softwareprogramme erforderlich. Die Einführung, Umsetzung bzw. Anwendung und die Aufrechterhaltung solcher Softwareplattformen stellen eine logistische Herausforderung für die Universitäten dar. Um diese Herausforderung zu bewältigen, verwendet die Colorado State University die Software „Adobe Captivate“ für die Lehre von BIM. Mit diesem Programm kann, unabhängig von der ursprünglichen BIM-Software, ein umfangreiches elektronisches Lernumfeld für die Studierenden geschaffen werden, indem Softwaredemonstrationen und interaktive Simulationen durchgeführt und unterschiedliche Szenarien durchgespielt werden. Wurde das Ausbildungsmaterial einmal mit der BIM-Software erstellt, kann es mit einem herkömmlichen „Adobe Flash Player“ verwendet werden. Diese Herangehensweise unterstützt die Lehrpersonen beim Softwaremanagement und in der Softwareausbildung. Darüber hinaus wird kein direkter Zugang zu kostspieligen Softwareprogrammen benötigt.

Im Rahmen einer Studierendenbefragung des Instituts für Baubetrieb der Colorado State University wurde ermittelt, welche Lehrmethode für die Einführung von 3D-Computermodellen von den Studierenden bevorzugt wird und wie sich das Verwenden von 3D-Modellen auf das Verständnis von komplexen Bausystemen auswirkt. Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Studierenden des Bauprozessmanagements und der Architektur keine Lernunterschiede aufweisen, und gleichermaßen

die Fähigkeit besitzen, Themenbereiche des Bauwesens und der Bauorganisation zu verstehen. Mithilfe einer weiteren Umfrage konnte dargelegt werden, dass die Werkstoffe Beton, Mauerwerk, Stahl, Holz und Plastik unterschiedliche Lernerfolge beim Verstehen von 3D-Simulationen erzielen.

Zukünftig werden weitere Forschungsarbeiten durchgeführt, um kontinuierliche Weiterentwicklungen und Verbesserungen der Lehrmodule zu erzielen.

#### **3.10.2 Illinois Institute of Technology**

Im Jahr 2011 hat der Fachbereich Bau-, Architektur- und Umweltingenieurwesen entschieden, Building Information Modeling in den Studienplan zu integrieren. Dieser Integrationsprozess wird nachfolgend anhand der beiden Artikel von Bozoglu [15] und Demirdoven und Arditi [24] erläutert.

Zunächst wurden die Kompetenzen, welche am Illinois Institute of Technologie gelehrt werden, identifiziert, um die zukünftigen Fachkräfte der Baubranche mit dem notwendigen Wissen und den Fähigkeiten, die für kollaborative BIM-Arbeitsprozesse und integrierte Projekte erforderlich sind, auszustatten. Basierend auf diesen Untersuchungsergebnissen wurden zwei Kurse entwickelt, um BIM in die universitäre Lehre zu integrieren. Der erste Kurs umfasst die Einführung von BIM im Bachelor, der zweite Kurs das Bauprozessmanagement mit BIM im Masterprogramm. Diese beiden Kurse werden wiederum jeweils in die zwei Module BIM Kollaboration und Koordination unterteilt. Die BIM-spezifische Ausbildung wird in den verschiedenen Fachbereichen der Architektur, des Bauingenieurwesens und des Informationstechnologiemanagements angeboten. Dieser fächerübergreifende Unterricht fördert die ganzheitliche Kommunikation untereinander und das Verständnis der verschiedenen Disziplinen der am Bauprozess Beteiligten.

Das Ziel der Ausbildung ist es, Fähigkeiten zu schulen ein Bauwerksinformationsmodell zu erstellen, verstehen und interpretieren und dieses für die Planung und für die Ausführungsprozesse zu verbessern. Des Weiteren lernen die Studierenden Modelle in einem integrierten Umfeld zu koordinieren, wodurch die Zusammenarbeit zwischen den Studierenden und BIM-Professionisten angeregt wird.

Die Lehre der BIM-spezifischen Module basiert auf der sogenannten experimentellen Lehrmethode. Dabei lernen die Studierenden durch Reflektion ihres eigenen Tuns und durch eigene Erfahrungen. Diese bestimmte Art des Lernens fördert vor allem den individuellen Lernprozess. Der Lernende muss dabei mit Hilfe von reflektierenden Beobachtungen eigenständig überlegen, ob eine bestimmte Methode oder Herangehensweise funktionieren könnte oder missglückt. In weiterer Folge kann durch abstrakte Konzeptualisierung ein Ansatz zur Verbesserung erarbeitet werden. Der Prozess einen neuen Ansatz zu entwickeln ist geprägt durch aktives Experimentieren auf Basis von bisherigen Erfahrungen, Überlegungen und Reflexionen. Die Studierenden werden ermutigt BIM-Instrumente anzuwenden und ihre Erfahrungen analytisch zu reflektieren, um ein besseres Verständnis im Entwurfs- und Ausführungsprozess zu erhalten.

#### **BIM-bezogene Bachelorausbildung**

Der BIM-bezogene Bachelorkurs „Einführung von BIM“ ist für Studierende des Bauingenieurwesens und der Architektur vorgesehen, um den Einfluss von Building Information Modeling auf architektonische und technische Planungs- und Entwurfstätigkeiten aufzuzeigen.

Der Kurs umfasst die Einführung von BIM und behandelt integrierte Entwurfsprozesse unter Berücksichtigung der BIM-Technologie und der BIM-bezogenen Arbeitsweise. Die Studierenden werden mit komplexen, neuartigen und realitätsnahen Aufgaben konfrontiert und erlangen dadurch kognitive Fähigkeiten, die essentiell für den Umgang mit BIM sind.

Mithilfe BIM-basierter Softwareplattformen lernen die Studierenden den Informations- und Datenaustausch, sowie die Relevanz von interoperablen Daten und Programmen. Die Arbeit mit analytischen Werkzeugen für statische Berechnungen und Energieanalysen ist ebenfalls Gegenstand des Unterrichts. Darüber hinaus wird das kollaborative Arbeiten mit anderen Teammitgliedern gestärkt sowie eine strukturierte Dokumentation und Präsentation der Projekte gelehrt. Neben Desktoplösungen konzentriert sich die Ausbildung auch auf webbasierte Lösungen und behandelt technologiespezifische sowie disziplinspezifische, technische Themengebiete. Der Kursleiter konzentriert sich darauf, Übungseinheiten anzubieten, in denen die Studierenden BIM-Werkzeuge, BIM-Arbeitsabläufe und BIM-Prozesse kennen lernen, die für ihren speziellen Fachbereich erforderlich sind. Unter der Verwendung von Autodesk Revit werden Entwurfsprozesse an zwei unterschiedlichen Projekten, einem Wohn- und einem Gewerbegebäude, gelehrt und einstudiert. Dadurch erlangen die Studierenden Grundkenntnisse über Autodesk Revit und modellieren zudem Architektur- und Tragwerksmodelle. Sie lernen auch das Koordinieren, Aktualisieren und Teilen von Konstruktionsdaten in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes.

In die BIM-Ausbildung werden ebenfalls Fachkräfte aus der Bauwirtschaft mit einbezogen. Diese stellen Methoden für die Zusammenarbeit in einem interdisziplinären Team vor und geben den Studierenden konstruktive Beurteilungen und Einschätzungen über deren Projektentwicklungstätigkeiten. Dieses Feedback unterstützt die Studierenden im Entscheidungsfindungsprozess, stärkt ihr Wissen und fördert ihre Fähigkeiten in der Auswahl alternativer Lösungen.

Unternehmen bevorzugen Fachkräfte mit Berufserfahrung einzustellen. Daher ist es wichtig, dass bereits auf der Universität realitätsnahe Simulationen von Projekten durchgeführt werden und der Umgang mit Softwareprogrammen gelehrt wird.

Mit den beschriebenen Kursinhalten werden vier übergeordnete Ziele angestrebt:

- das Verstehen der Arbeitsmethode mit BIM
- das Kennenlernen verschiedener Softwareprogramme und Technologien
- den Umgang mit Bauwerksinformationsmodellen zu lernen und
- das Erstellen und Präsentieren eines 3D-Entwurfprojekts mit der Software Autodesk Revit.

Zusätzlich nehmen die Studierenden an einem kollaborativen Workshop teil. Mit der Unterstützung einer Lehrperson und eines Fachmanns aus der Baubranche lösen die Studierenden praxis- und

realitätsnahe Problemstellungen. In diesem Workshop sind die Studierenden Bestandteil eines integrierten Entwurfteams, sammeln erste Erfahrungen mit kollaborativen Arbeitsprozessen und lernen die Verwendung von Daten und Dokumenten in unterschiedlichen Formaten kennen. Das Absolvieren dieses Workshops soll zeigen, dass BIM mehr ist, als nur das Verwenden einer Software. BIM fordert eine gute, integrierte Zusammenarbeit, wobei die Interoperabilität zwischen den Plattformen ein Kernthema darstellt.

#### **BIM-bezogene Masterausbildung**

Die Lehrveranstaltung „Bauprozessmanagement mit BIM“ wird in den Masterstudiengängen Bauingenieurwesen und Architektur angeboten. Dieser Kurs soll den Einfluss von BIM auf die Tätigkeiten des Bauprozessmanagements zeigen und die fundamentalen, praktischen Anwendungen der Bauwerksinformationstechnologie in der Wirtschaft demonstrieren. Das Ziel der BIM-bezogenen Masterausbildung ist es, die Absolventen darauf vorzubereiten, Aufgaben, in der sich ständig weiterentwickelnden Baubranche bewältigen zu können. Die Studierenden sollen ausgeprägte kollaborative Fähigkeiten für die Entwicklung und Durchführung von BIM-Strategien sowie eine breite Sichtweise für soziale, ökologische und ökonomische Gesichtspunkte erwerben.

Zu den Lehrinhalten des BIM-bezogenen Masterkurses gehören das Kennenlernen der breitgefächerten BIM-Werkzeuge. Es werden die Anwendungsbereiche von BIM für die verschiedenen Fachbereiche des Bauwesens aufgezeigt. Dazu zählen beispielsweise die Anwendung von BIM für Eigentümer, für das Facility Management, für Architekten und Ingenieure, für Auftragnehmer, für Subunternehmer und Herstellerfirmen. Mit der Anwendung von Softwareprogrammen lernen die Studierenden den Umgang mit Clash Detections, das Erstellen von modellbasierten Massenermittlungen, Kostenschätzungen und Terminplänen sowie das Änderungsmanagement.

Jeder Kursteilnehmer erhält ein praxisnahes Projekt, in welchem verschiedene Baumanagementaufgaben mithilfe der Software „Vico“ durchzuführen sind. Das Projekt wird zudem von Fachkräften aus anderen Softwareanbietern begleitet, um den Vergleich von verschiedenen Softwareprogrammen zu ermöglichen.

Mithilfe eines sogenannten BIM-Projektentwicklungsplans lernen die Studierenden im Master wichtige Aspekte der Zusammenarbeit und der strategischen Planung. Ein Projektentwicklungsplan beinhaltet unter anderem ein Rahmenkonzept, welches als Koordinationsstrategie für die Projekte verwendet werden kann und umfasst eine Vorlage, die als Hilfestellung dient, um Ziele und Abwicklungsprozesse sowie erforderlichen Leistungen eines Projektes zu definieren. Zu Beginn des Semesters wird ein Team zusammengestellt, in welchem jedes Mitglied eine fest definierte Rolle einnimmt. Auf Grundlage von allgemeinen, projektspezifischen Hintergrundinformationen entwickelt jedes Team eigenständig einen BIM-Projektentwicklungsplan, den es anschließend anwendet. Diese Aufgabe stärkt die Fähigkeiten der Zusammenarbeit und die Studierenden erarbeiten sich grundlegende Kenntnisse bezüglich Informationsaustausch zwischen den am Bauprozess beteiligten Fachkräften.

Die Ziele des Masterkurses sind:

- das Konzept von BIM zu verstehen
- die Bandbreite an Softwareprogrammen und Technologien, die für BIM verwendet werden, kennen zu lernen
- Bauwerksmodelle, die mit einer BIM-Software erstellt wurden, für Managementaufgaben zu verwenden
- Kollisionen und Widersprüche an einem Bauprojekt mit Hilfe von BIM zu erkennen
- Erstellen eines Terminplans unter der Verwendung von BIM
- Erstellen von Kostenschätzungen mit BIM
- die Verwendung von BIM für Facility Management Aufgaben und
- Anwenden der Software „Vico“ als Softwarepaket für das Durchführen und Präsentieren von Bauwerksanalysen und Berichten.

#### **Feedback zum BIM-Curriculum**

Drei Jahre nach der Einführung der BIM-bezogenen Kurse an dem Illinois Institute of Technology wurden mithilfe einer Studie, in welcher die Studierenden und das Lehrpersonal befragt wurden, die primären Anforderungen an die Lehrmethoden für die Bildung von BIM ermittelt.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass die Rückmeldungen der Studierenden für beide BIM-Kurse, den Bachelor- und den Masterkurs, sehr positiv ausgefallen sind. Sie befürworten, dass zu Beginn des Semesters der Kursleiter die genauen Ziele der Lehrveranstaltung definiert, welche wiederum mit dem Kursinhalt übereinstimmen und für derzeitige und zukünftige Tätigkeiten relevant sind. Weiters wird als positiv hervorgehoben, dass die Lehrinhalte verständlich aufbereitet und mit praktischen Übungen gefestigt werden. Der Lernprozess wird durch Präsentationen, Softwareübungen, Gastlektoren und Workshops unterstützt. 68 % der Befragten befürworten die enge Zusammenarbeit untereinander und 17 % die Herangehensweise Entscheidungen zu treffen. Die restlichen Studierenden gaben keine Präferenz in dieser Hinsicht an. Mehr als die Hälfte der Befragten, die an den BIM-Kursen des Illinois Institute of Technology teilgenommen haben, sind von den persönlichen Fähigkeiten und ihrem Wissen hinsichtlich BIM überzeugt. Der Schritt vom konventionellen zweidimensionalen Arbeitsablauf zu dreidimensionalen BIM-Abläufen ist laut der Studie für etwa 60 % der Studierenden keine große Herausforderung.

Die Studienergebnisse zeigen deutlich, dass die Ausbildungsmöglichkeit im Bereich BIM einen hohen Stellenwert unter den Studierenden hat. Knapp 90 % der Befragten sind der Meinung, dass es für Absolventen entscheidend ist, BIM-Fähigkeiten vorzuweisen, um einen guten Arbeitsplatz zu erlangen und in späterer Hinsicht befördert zu werden. Die Umfrage hat zudem ergeben, dass für 89 % aller Studierenden die Nachfrage nach BIM-Experten in der Bauwirtschaft entscheidend dazu beigetragen hat sich damit zu beschäftigen. 11 % der befragten Studierenden gaben andere Gründe für das Lernen von BIM an.

Das Illinois Institute of Technology hat die Erfahrung gemacht, dass es förderlich ist, wenn Fachkräfte aus der Bauwirtschaft mit der Universität eng zusammenarbeiten und fortlaufend Erfahrungen und Erkenntnisse austauschen, um eine effektive, kollaborative BIM-Ausbildung an Universitäten zu ermöglichen. Die Strategie des Illinois Institute of Technology für die Lehre von BIM ist erfolgreich und bereitet die Absolventen der Architektur und des Bauwesens auf die Anforderungen der Wirtschaft vor.

#### **3.10.3 University of Texas at Austin**

Ein Bericht im Journal ITcon von Leite [60] ist die Basis für die Beschreibung der Lehre von BIM an der University of Texas at Austin.

Im Jahr 2010 hat die University of Texas at Austin erstmals einen BIM-Kurs für die Studienrichtungen Architektur, Bauingenieurwesen und Maschinenbau angeboten. Die Nachfrage war bereits im ersten Jahr so groß, dass der Kurs anfänglich drei Semester hintereinander angeboten wurde, um so vielen Studierenden wie möglich eine Teilnahme zu ermöglichen.

Da BIM eine sehr umfangreiche Begriffsbestimmung hat und nicht nur auf die Verwendung eines Softwareprogrammes oder eines eigenständigen Werkzeuges reduziert werden kann, ist es wichtig, BIM als kollaborativen Prozess über ein gesamtes Bauprojekt zu verstehen. Der Ausbildungsschwerpunkt von BIM sollte daher so gewählt werden, dass die Studierenden die Fähigkeit des selbstgesteuerten Lernens entwickeln. Durch die rasche Entwicklung von BIM ist es die Aufgabe der Universitäten das kritische Denken zu fördern. Aus diesen Gründen hat sich die University of Texas dafür entschieden, für die Lehre von BIM den Bildungsansatz des problembasierten Lernens anzuwenden.

Problembasiertes Lernen ist eine aufgabenorientierte Lernmethode, durch welche die Studierenden zu selbständigem Lernen befähigt werden. Die Lernenden werden mit Problemstellungen konfrontiert und müssen unter Anwendung des bereits angeeigneten Wissens eigenständig eine Lösung erarbeiten. Für Übungen werden reale, praxisbezogene Problemstellungen herangezogen. Die Erkenntnisse und Lösungsvorschläge werden präsentiert, diskutiert und es werden Ratschläge, Anregungen und Rückmeldungen eingeholt. Der Zugang des problembasierten Lernens eignet sich sehr gut für die Ausbildung von Ingenieuren, da die Herangehensweise in der Ausbildung den beruflichen Methoden und Ansätzen von Ingenieuren gleicht. Obwohl sich die Projekte im Umfang und der Komplexität unterscheiden, sind dennoch die fundamentalen Theorien und Techniken des Bauwesens bei jedem Projekt gleich. Beispielsweise sind ungenau bestimmte Probleme und das Zusammenarbeiten in Teams allgegenwärtige Aufgaben des Projektmanagements.

Für die ingenieurmäßige Ausbildung kann problembasiertes Lernen mit kooperativem Lernen verbunden werden, da die Studierenden bei den Projekten für gewöhnlich in kleinen Gruppen, bestehend aus zwei bis sechs Personen, zusammenarbeiten. Die Gruppenstruktur ist ineinandergreifend, was bedeutet, dass die Arbeiten der Studierenden voneinander abhängig sind und jeder eine große Eigenverantwortung trägt. Die Ziele der Teams sind klar festgelegt und definiert, wobei sich die Teammitglieder gegenseitig unterstützen, um das gemeinsame Ziel zu erreichen. Das

Ziel von Gruppenarbeiten und individuellen Aufgaben ist es, dass die Studierenden kollaborative Fähigkeiten erlangen und zu kritischem Denken ermutigt werden.

#### **Beschreibung der BIM-spezifischen Ausbildung**

Die Universität von Texas bietet ein BIM-Ausbildungsprogramm an, welches im Bachelor von Studierenden der Architektur und des Bauingenieurwesens und im Master von Studierenden mit dem Schwerpunkt Bauwesen und Projektmanagement in Anspruch genommen werden kann. Es wurde für Studierende entwickelt, die sich für das Bauprozessmanagement und die Informationstechnologie in den Dienstleistungsbereichen der Architektur, des Ingenieur- und Bauwesens, interessieren. Es werden in der BIM-Ausbildung die Kernkompetenzen und Fähigkeiten geschult, die erforderlich sind, um ein existierendes Bauwerksinformationsmodell zu bedienen und zu verwenden.

Bei der Lehre von BIM stützt sich die Universität auf prozessbezogene Lehransätze und Beurteilungsgrundsätze. Das bedeutet, der Schwerpunkt des BIM-Kurses liegt hauptsächlich auf dem kollaborativen Managementprozess, weniger auf dem Erlernen der BIM-Werkzeuge. Der Schwerpunkt der BIM-Ausbildung an der University of Texas at Austin soll nicht das Bewältigen eines oder mehrerer Softwareprogramme sein. Vielmehr liegt der Fokus darauf, die Anwendungsgebiete und Funktionen von BIM in den verschiedenen Projektphasen zu verdeutlichen, sodass die Vorteile von BIM im Bereich des Projektmanagements aufgezeigt werden. Es wird der positive Einfluss von BIM auf Projektergebnisse aufgezeigt und die Studierenden werden motiviert, eigenständig weitere Verbesserungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

Die BIM-spezifische Ausbildung besteht aus vier Ausbildungsmodulen. Diese umfassen:

- die modellbasierte Kostenschätzung
- die modellbasierte Bauzeit- und Ablaufplanung sowie 4D-Simulation
- das Koordinieren der Konstruktion und
- das photogrammetrische Erzeugen von Modellen.

Zusätzlich zu den vier Modulen werden in Zusammenarbeit mit Professionisten aus der Bauwirtschaft Fallstudien durchgeführt. Die Simulationen und Aufgaben werden anhand existierender, vormodellierter Modelle durchgeführt.

Jedes der Module hat denselben Aufbau und besteht aus einer Einführungsvorlesung, zwei Laborübungen sowie Reflektions- und Diskussionsrunden. In der Vorlesung werden grundlegende Informationen über das Thema dargelegt und durch Klassendiskussionen ergänzt. Alle Laboraufgaben werden in Form von Gruppenarbeiten ausgearbeitet. Die erste Laborübung besteht aus Softwaretutorials mit Schritt für Schritt Anweisungen und aus praktischen Übungsaufgaben. In der zweiten Laborübung haben die Studierenden die Möglichkeiten ihre praktischen Fähigkeiten auszubauen, Fragen zu stellen, in Gruppen zusammenzuarbeiten und sich mit anderen Gruppen auszutauschen. Der Fokus liegt auf teambasiertem Lernen. Abgeschlossen wird das Modul mit Gruppenpräsentationen, welche die Möglichkeit zur Diskussion der Ergebnisse bieten.

Die BIM-Ausbildung ist rein projektbezogen, dabei sind die Aufgaben für jedes Modul Problemstellungen, in denen das Wissen des jeweiligen Moduls für reale Projekte anzuwenden ist. Für die Ausarbeitung werden die Kursteilnehmer in Teams, die sich aus Studierenden des Bachelors und des Masters zusammensetzen, eingeteilt. Die Zusammenstellung jedes Teams ist so gestaltet, dass in jeder Gruppe ein ausreichend breites Spektrum an Hintergrundwissen und Fähigkeiten, wie beispielsweise in den Bereichen Modellieren, Kostenschätzungen, Terminplanungen, vorhanden ist. In dem projektbasierten Kurs erlangen die Studierenden Wissen über die Umsetzung und Anwendung von BIM über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, vom Entwurf über die Planung, den Bau und den Gebäudebetrieb. Das Erarbeiten verschiedener Aufgaben anhand von BIM-basierter Projekten aus der Bauwirtschaft ist eine erfolgreiche Methode, um praktische Erfahrungen über verschiedene Aspekte von BIM zu lernen.

Mit dem Absolvieren der BIM-Kurse sind die Studierenden in der Lage:

- BIM zu definieren
- die Anwendung der BIM-bezogenen Arbeitsweise in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes zu verstehen und zu beschreiben
- den Vorgang bei modellbasierten Kostenschätzungen zu beschreiben
- 4D-Simulationen durchzuführen
- BIM erfolgreich anzuwenden und Änderungen in Bauprojekten zu übernehmen, sowie
- eigene Ideen im Zusammenhang mit BIM zu entwickeln und abzuwägen.

#### **Mitwirken der Bauwirtschaft**

Das Integrieren von Forschungsergebnissen und neuen Erkenntnissen aus der Wirtschaft in die Ausbildung ist ein wichtiger Bestandteil der Ausbildung von BIM. Die Universität kooperiert in enger Zusammenarbeit mit der sogenannten „Austin BIM Peer Group“, einer Wirtschaftsgruppe von etwa 32 Unternehmen. Mitwirkende der Gruppe werden während des Semesters gebeten als Betreuer und Gastlektoren den projektbezogenen Lernprozess zu unterstützen. Diese schildern persönliche Erfahrungen über die Implementierung von BIM, wodurch der Vorlesungsinhalt durch eigene Projekte veranschaulicht wird. Monatlich trifft sich die Austin BIM Peer Group, um aktuelle Informationen und neue Lernerfahrungen bezüglich BIM-basierter Entwurfs- und Konstruktionsprojekte auszutauschen. Zu den Treffen werden die Teilnehmer des BIM-Kurses eingeladen. Diese haben dort die Möglichkeit sich mit Betreuern auszutauschen und Praktikumsstellen oder Jobangebote zu erlangen. Zudem bietet die Kooperation mit Unternehmen eine wichtige Chance mit Fachkräften aus der Bauwirtschaft zu kommunizieren, von ihren praktischen Erfahrungen zu lernen und das Wissen, das sie im Unterricht lernen, mit realen, praktischen Übungen zu festigen. Darüber hinaus unterstützen Bauunternehmen die Studierenden im BIM-Kurs bei der Ausarbeitung einer Fallstudie. Die Aufgabe der Studierenden ist es, mit der Unterstützung des Kursleiters eine Firma ausfindig zu machen und zu kontaktieren, die bereit ist, ein Forschungsprojekt in Kooperation mit der Universität durchzuführen. Es wird ein reales Projekt ausgewählt, in welchem BIM in irgendeiner Form angewendet wird und das sich für eine solche Nachforschung eignet. Im Rahmen der Fallstudie sind folgende Fragen in einer Gruppenarbeit

herauszuarbeiten und zu beantworten: aus welchem Grund hat sich das Projektteam dazu entschlossen BIM anzuwenden, nach welcher Methode wurde zuvor gearbeitet und warum führte diese zu Problemen, wie und in welcher Phase des Projektlebenszyklus wurde BIM in das Projekt eingegliedert, wie trägt die Anwendung von BIM zum Projekterfolg bei, gibt es messbare Verbesserungen durch BIM und welche Herausforderungen ergaben sich bei der Implementierung. Mit Befragungen, Besuchen vor Ort und Analysen der Projektdokumente werden die Fragestellungen diskutiert. Am Ende des Semesters stellt jedes Team ihre industriebetreute Fallstudie den Mitstudierenden und den Betreuern aus den betroffenen Unternehmen vor, die konstruktive Rückmeldungen geben.

#### **Bewertungsschema von Studierenden**

Das Bewertungsschema des Kurses wird unterteilt in Gruppen- und Einzelbewertungen und beruht nicht ausschließlich auf dem Endergebnis der Aufgabe, sondern ebenfalls auf den geführten Diskussionen und dem Verständnis der praxisbezogenen Aufgaben. Jedes Modul wird in verschiedene Aufgaben unterteilt, wobei jede Aufgabe ein klar definiertes Ziel hat. Diese Gliederung wird ebenfalls für die Beurteilung verwendet. Für die fachgerechte Ausarbeitung einer Aufgabe kann eine bestimmte Anzahl an Punkten erreicht werden.

Alle laborbasierten Aufgaben und Fallstudien, die von Bauunternehmen betreut werden, werden in Gruppenarbeiten bewerkstelligt. Für eine umfassende Beurteilung der Leistungsfähigkeit zwischen den Gruppenmitgliedern untereinander wird das sogenannte Peer Assessment verwendet. Hierfür findet am Ende einer Laborübung jeweils eine Umfrage statt. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, die Erkenntnisse und Erfahrungen den Lehrpersonen zu präsentieren und die Leistungen und Entwicklungen des gesamten Teams aus Sicht der Mitglieder zu beurteilen. Jeder Studierende beantwortet die Umfrage gesondert und wird gebeten das Verhalten und die Beitragsleistung jedes Mitglieds im eigenen Team zu beurteilen. Dabei wird bewertet, in welchem Ausmaß sich jeder Einzelne aktiv an der Gruppenarbeit beteiligt, wie gut das Zusammenspiel mit den anderen Teammitgliedern funktioniert, ob man das Team auf dem richtigen Weg halten und leiten kann, wie hoch die erwarteten Qualitätsansprüche sind und ob das Wissen und die Fähigkeiten vorhanden sind, um die Aufgaben auszuarbeiten. Diese Form der Beurteilung ermöglicht dem Professor jene Teammitglieder, die sich nicht aktiv an den Gruppenarbeiten beteiligen und integrieren, zu identifizieren und deren Note, individuell anzupassen. Basierend auf zu lesenden Texten werden Diskussionen geführt und Fragen ausgearbeitet, die als Einzelnachweis herangezogen werden. Studierende im Master müssen zusätzlich Berichte erstellen, die ebenfalls zum Einzelnachweis zählen.

Die zweite Bewertungsmethode ist die Lehrveranstaltungsbeurteilung. Zum einen erhält das Lehrpersonal während des Semesters ein Feedback von den Studierenden bezüglich neuen Themen und kann gegebenenfalls den Kurs anpassen. Zum anderen findet am Ende des Semesters ebenfalls eine Umfrage für die Lehrveranstaltungsbeurteilung statt.

#### **3.10.4 Stanford University**

Peterson [79] berichtet in einem Artikel über die BIM-spezifische Ausbildung an der Stanford Universität, welcher die Grundlage der nachstehenden Ausführung bildet.

An der Stanford Universität wurde Building Information Modeling in dem umfangreichen Masterkurs „Management von Bau und Ausführung“ eingeführt. Die Ausbildungsform basiert auf einem projektbasierten Lernformat, wobei der Unterricht aus einer Kombination von Vorlesungen, Übungen, Laborübungen, Teamprojekten, Präsentationen, Diskussionen und Prüfungen gestaltet wird. Die meisten Studierenden bringen bereits Grundwissen über Terminplanung aus Bachelorkursen, über Kostenschätzungen aus parallelen Masterkursen und praktische Erfahrungen aus Praktiken mit. Sie sind in den einzelnen, nicht integrierten Aspekten des Projektmanagements bereits sachkundig. Das Ziel des Kurses ist es, die Vorkenntnisse zu erweitern und die fortschrittlichen Themen des Projektmanagements, wie beispielsweise integrierte Prozesse der Kosten- und Terminplanung, Berechnungen zeitvariabler Kosten, Bestimmen der treibenden Produktionsleistung und Minimieren der Ressourcenverschwendung, näher zu vermitteln. Die Studierenden sollen ein Gespür für die Optimierung der Produktivität, das Gewährleisten der Machbarkeit und die Minimierung von Risiken entwickeln. Unter Verwendung von BIM-basierten Softwareprogrammen können die Studierenden in den Laborübungen und Gruppenarbeiten eigenständig ganzheitliche, realitätsnahe Aufgaben lösen, verschiedene Projektmanagementmethoden einsetzen und dadurch ein intuitives Verständnis für die Anwendungsgebiete der Methoden entwickeln. Der Vorteil bei der Verwendung von realen Dokumenten liegt darin, dass die Studierenden bereits während der Ausbildung mit demselben Medium konfrontiert werden, das sie später in der Praxis erwartet. Für Unterrichtszwecke wird ein Bauwerksinformationsmodell zur Verfügung gestellt, sodass die Studierenden nicht eigenständig Modelle generieren müssen.

Zu Beginn des Kurses gibt es eine Einführung in das Beispielprojekt, ein vereinfachtes Bauwerksinformationsmodell, und in verschiedene BIM-basierte Anwendungen des Leistungs-, Kosten- und Zeitmanagements. Die Studierenden teilen sich in Gruppen zu jeweils drei Personen auf, lernen das Projekt und das Arbeitsumfeld kennen und machen sich mit den Projektunterlagen und -dokumenten, sowie der Benutzeroberfläche der Software vertraut.

In der ersten Laborübung wird der Umgang mit Softwarewerkzeugen gelehrt. Die erste Aufgabe besteht darin einen Terminplan mithilfe herkömmlicher Methoden, nämlich händisch oder mit einer Tabellenkalkulation, zu erstellen. Die Studierenden stellen fest, dass diese nichtintegrierten Systeme den Nachteil haben, dass bei Änderungen und Abweichungen der gesamte Terminplan überarbeitet werden muss. Im Vergleich dazu erstellen die Kursteilnehmer denselben Terminplan am zur Verfügung gestellten 4D-Bauwerksmodell und führen Änderungen durch. Sie erhalten dadurch einen ersten Einblick in das integrierte BIM-Konzept. Die Übungsaufgabe wird durch Vorlesungen ergänzt, in denen das Lehrpersonal Fallbeispiele von Problemen im Projektmanagement bei nichtintegrierten Projekten präsentiert.

Unter Verwendung der Projektdaten führen die Studierenden in der zweiten Laborübung einen kompletten Zyklus der Datenübergabe durch, um einen integrierten Projektplan zu erhalten. Das Erlernen der Kenntnisse, die notwendig sind, um einen Durchlauf abzuschließen, ist mit einem großen Zeitaufwand verbunden. Unterstützung bei den Laborübungen erhalten die Teilnehmer von Universitätsmitarbeitern und Fachkräften aus der Bauwirtschaft. Nach der zweiten Laborübung wird eine Liste internationaler Projektkontakte zu Verfügung gestellt, aus welcher ein Projekt ausgewählt

wird. Der zuständige Projektmanager wird kontaktiert, um Projektdokumente zu erhalten. In Zusammenarbeit mit dem Projektmanager wird schließlich ein Building Information Model für das Projekt entwickelt. In diesem Entwicklungsprozess identifizieren die Studierenden Widersprüche im Modell, die gelöst werden müssen, und Optimierungsmöglichkeiten. Am Ende werden die Ergebnisse den anderen Studierenden, Lehrern und dem zuständigen Projektmanager präsentiert und in einem Bericht festgehalten.

In den Laborübungen erstellen die Studierenden einen vollständig integrierten Projektplan unter Verwendung verschiedener Softwareprogramme von unterschiedlichen Anbietern. Die Vollständigkeit und der hohe Detaillierungsgrad des integrierten Projektplans schafft ein reales und praxisnahes Umfeld. Das Ausarbeiten des integrierten Projektplans umfasst folgende sieben Schritte, die chronologisch durchgeführt werden: Zunächst erfolgt das Bestimmen der Arbeitsvorgänge und Festlegen eines Projektstrukturplans, indem das Projekt in kleine Komponenten zerlegt wird. In den nächsten beiden Schritten werden die BIM-Komponenten mit den Arbeitsvorgängen verknüpft und spezifische Konzepte für Arbeitsvorgänge ohne korrespondierende Komponenten im Modell hergeleitet. In weiterer Folge erstellen die Studierenden Terminpläne und berechnen den Ressourcenbedarf. Die fünfte Stufe des Projektplans umfasst das Erstellen eines 4D Modells aus dem Bauwerksinformationsmodell und dem entsprechenden Zeitplan. Es werden Fehler im Zeitplan korrigiert und Verbesserungen hinsichtlich Arbeitsablauf, Ressourcenbedarf, Meilensteinen und der Gesamtdauer durchgeführt. Im nächsten Schritt werden die Massen und zeitvariablen Mengen für die Kalkulation weiterverwendet und eine Kostenschätzung erstellt. Der siebte und zugleich letzte Schritt ist die Kontrolle der einzelnen Aufgaben, um etwaige Fehler zu korrigieren.

Die Beurteilung des Projektplans erfolgt unter den Gesichtspunkten der Vollständigkeit, Gesamtkosten und Qualität. Es werden die Effizienz und die Koordination der Teams bewertet und geprüft, ob die Ressourcen gleichmäßig aufgeteilt wurden.

Bei der Erstellung des integrierten Projektplans mit dem BIM-basierten Projektmanagementsystem erkennen die Studierenden die Vorteile von BIM, die Zeit sparen können. Die integrierte Projektumgebung im BIM-bezogenen Arbeitsablauf ermöglicht, dass bei Fehlerkorrekturen automatisch die Änderungen in allen Bereichen übernommen werden, was die Nacharbeiten reduziert und Unstimmigkeiten im Modell vermeidet. Der BIM-basierte Prozess ermöglicht durch funktionsübergreifende Kommunikation eine Reduktion der Ressourcen. Obwohl bei der BIM-bezogenen Arbeitsweise die erste Iteration oftmals länger dauert als die darauffolgenden, wird der Arbeitsaufwand für alle nachfolgenden Iterationen deutlich reduziert. Die BIM-spezifische Ausbildung lehrt die Optimierung des Zeitplans, das Maximieren der Produktivität bei gleichzeitiger Überprüfung und Sicherstellung der Baubarkeit. In der Übungsaufgabe optimieren die Studierenden den Arbeitsablauf, Ressourcenbedarf und den zeitlichen Umfang. Dadurch wächst das Verständnis über den Zusammenhang von Arbeitsumfang, Zeit und Kosten.

Die Ausbildung an der Stanford Universität fördert die Fähigkeiten der Studierenden ein BIM-Modell zu erstellen und im weiteren Verlauf zu betreuen und zu verwalten. Wenn Probleme auftauchen, können diese eigenständig bearbeitet und behoben werden. Zudem entwickeln die Studierenden ein intuitives Verständnis des kritischen Pfades und der vierdimensionalen Darstellung mithilfe von

Softwareprogrammen. Es wird die Notwendigkeit der Zusammenarbeit und Interaktion zwischen dem BIM-Modellierer, Ingenieur, Terminplaner und Kalkulator verdeutlicht.

Es wird untersucht wie sich die Einführung eines integrierten Projektplans, unter der Anwendung von BIM-basierten Werkzeugen, im Vergleich zur Lernmethode ohne BIM-basierten Projektmanagementwerkzeugen auf die Lernmuster auswirkt. Die Untersuchungen zeigen, dass Studierende mit einer BIM-spezifischen Ausbildung besser auf konzeptionelle Fragen und auf Fragen über die Optimierung eines Projektplans antworten können. Jene ohne BIM-spezifischer Ausbildung sind hingegen stärker bei rechnerischen Aufgaben und in den Verfahren der Methode des kritischen Pfades. Folglich tritt eine Verschiebung von quantitativen technischen Fähigkeiten zu einem qualitativ ganzheitlichen Verständnis von Projektmanagementmethoden ein.

### **3.11 Neuseeland**

Der Integrationsprozess von BIM in den Lehrplan des Bauingenieurstudiums am Unitec Institute of Technology erstreckte sich über sieben Jahre. In diesem Zeitraum wurden zahlreiche Untersuchungen bezüglich unterschiedlichen Lehrverfahren, Lerninhalten und Lernergebnissen durchgeführt. Im nachfolgenden Absatz wird der Implementierungsprozess erläutert und im Detail jener Prozess beschrieben, wie die Universität Lehr- und Lernressourcen für die Ausbildung von BIM beschaffen hat. Abschließend werden die BIM-spezifischen Ausbildungsmöglichkeiten am Unitec Institute of Technology nach Ende des Implementierungsprozesses beschrieben. Die Nachforschungen gehen auf einen Artikel von Puolitaival und Forsythe [82] zurück.

#### **Unitec Institute of Technology**

Eine Besonderheit am Unitec Institute of Technology im Vergleich zu europäischen Universitäten ist, dass die Bachelorausbildung im Bereich Bauwesen keine ingenieurspezifischen Fächer beinhaltet. Der Ausbildungsschwerpunkt liegt auf bautechnischen Kursen mit starkem Fokus auf dem Projektmanagement.

Der Prozess ein BIM-Curriculum zu entwickeln wurde am Unitec Institute of Technology in mehreren Stufen durchgeführt. Die erste Stufe begann im Jahr 2009 mit dem Entschluss BIM in die Lehre einzubeziehen. Es dauerte sieben Jahre bis BIM schließlich 2016 in alle Programme integriert wurde. Über den gesamten Zeitraum von 2009 bis 2016 wurden im Rahmen des Entwicklungsprozesses zahlreiche Untersuchungen und Recherchen durchgeführt, verschiedene Lehrverfahren in den Bachelorstudiengängen getestet, der Lernprozess genau verfolgt und die Lernergebnisse sowie die praktische Umsetzbarkeit geprüft. In Zusammenarbeit mit dem Lehrpersonal und den Studierenden wurden in Workshops, Seminaren und bei internationalen Konferenzen verschiedene Ausbildungsmöglichkeiten untersucht. Das Ziel war es, herauszufinden, welche Ausbildungsstrategien und Bewertungsverfahren am besten geeignet sind, um BIM in die Lehre zu integrieren. Während der Entwicklung des neuen Curriculums wurden programm- und kursbezogene Fallstudien durchgeführt, um die verschiedenen Vor- und Nachteile von Ausbildungsstrategien zu evaluieren und ein aussagekräftiges Feedback von Unterrichtenden und Studierenden zu sammeln.

Die Untersuchungen und Diskussionen haben ergeben, dass der Grad der BIM-spezifischen Ausbildung der Universität an den Bedarf und die Nachfrage der lokalen Bauwirtschaft angepasst werden muss. Da viele Bauunternehmen in Neuseeland derzeit noch konventionelle Prozesse und herkömmliche Technologien verwenden, ist es unerlässlich, herkömmliche Prozesse und Methoden an der Universität zu lehren, um den Absolventen die Beschäftigungsfähigkeit zu garantieren. Es galt also, ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen der traditionellen und der BIM-bezogenen Arbeitsweise zu finden.

Zu Beginn des Entwicklungsprozesses eigneten sich die Lehrpersonen grundlegende Kenntnisse über BIM im Allgemeinen und in den jeweiligen Fachbereichen an. Dies erfolgte mittels internationaler Literatur und Beispielen aus der Bauwirtschaft. Das BIM-spezifische Wissen wurde über den gesamten Implementierungs- und Forschungszeitraum hinweg immer auf dem aktuellen Stand gehalten. Für das Erlernen eines Softwareprogrammes wurde folgende Herangehensweise gewählt: eine Lehrkraft hat den Umgang mit einer Software gelernt und im Rahmen eines Workshops an interessierte Lehrpersonen weitervermittelt. Dies stellte sich als eine kostengünstige, aber zeitaufwendige Herangehensweise heraus.

#### *Lehr- und Lernressourcen*

Ein Kerngebiet der Forschungsarbeit war die Analyse von BIM-bezogenen Bachelorkursen hinsichtlich der verwendeten Lehrmittel und -materialien. Es gibt zwei verschiedene Arten von Lernressourcen: sogenannte nicht-aktive Ressourcen, wie Bücher, Berichte und Artikel, Richtlinien und Leitfäden, Videos etc. und aktive Ressourcen, wie Bauwerksinformationsmodelle. Zu Beginn der Untersuchungen, im Jahr 2009, gab es nur eine geringe Auswahl an hauptsächlich nicht-aktivem Lernmaterial. Im Laufe der Jahre erhöhte sich die Anzahl der zur Verfügung gestellten Ressourcen und es wurde zur Herausforderung die passenden nicht-aktiven Lernressourcen zu finden. Auch die Anzahl an verfügbaren Bauwerksmodellen stieg, jedoch konnten diese aufgrund des ungenauen Detaillierungsgrads nur bedingt für Simulationen und Analysen im Unterricht herangezogen werden. Die Schwierigkeit ist also, passende Lehrmaterialien zu finden, die mit dem aktuellen Wissensstand der Studierenden und den Lernzielen übereinstimmen.

Nicht-aktive Lehr- und Lernmaterialien werden am Unitec Institute of Technology verwendet, um die verschiedenen Aspekte von BIM, wie beispielsweise die Chancen, Schwierigkeiten und die Anwendungsgebiete in der Wirtschaft, zu zeigen. Die Studierenden lernen, wie Projektziele durch die Anwendung von BIM erreicht und die Kommunikation und die Zusammenarbeit gefördert werden, aber auch wo die Probleme und Herausforderungen bei der Interoperabilität und Kollaboration bei Bauprojekten liegen. Anhand von Videos wird die Anwendung von BIM als Teil des Bauprozesses demonstriert. Aufgrund der sich rasch entwickelnden BIM-Technologie und ständigen Veränderungen ist es schwierig die Lernressourcen auf dem aktuellen Stand zu halten. Deshalb ist es die Aufgabe fortschrittliche Lernressourcen zu sammeln, die zum Themenschwerpunkt des jeweiligen Kurses passen. Diese Herangehensweise ermöglicht, dass jeder Jahrgang und jeder BIM-spezifische Kurs mit zeitgemäßen und neuesten Erkenntnissen arbeiten kann und die Studierenden wiederum lernen eigenständige Literaturrecherchen durchzuführen.

Der Ausbildungsfokus von BIM am Unitec Institute of Technology liegt hauptsächlich auf dem Erlernen und Entwickeln von Projektentwicklungs- und -managementfähigkeiten und weniger auf den entwurfsorientierten Prozessen. Deshalb werden die Bauwerksinformationsmodelle nicht von den Kursteilnehmern eigenständig generiert.

Weil zu Beginn der Implementierungsphase wenige BIM-Modelle zur Verfügung standen oder die Modelle nicht zu den Themenschwerpunkten des Kurses passten, musste zunächst ein Kompromiss gefunden werden, um die BIM-spezifischen Lehrinhalte zu übermitteln. Den Studierenden wurden Videos mit verschiedenen BIM-Tätigkeiten und -Arbeitsabläufen gezeigt, weil keine Modelle vorhanden waren, um die BIM-spezifischen Aufgaben eigenständig zu lösen. Im Jahr 2010 wurde erstmals ein simples Bauwerksinformationsmodell im Unterricht verwendet, um erste Erfahrungen mit Modellen in der Lehre zu sammeln. Seit dem Jahr 2015 werden BIM-Modelle in mehreren Kursen verwendet, beispielsweise für das Erstellen von Kostenschätzungen oder rein für Demonstrationszwecke.

Um eine Lösung für den Mangel an passenden, realitätsnahen Bauwerksinformationsmodellen zu finden, wurden die Möglichkeiten, die für die Modellbeschaffung zur Verfügung stehen, identifiziert und analysiert. Das Unitec Institute of Technology hat zwei Hauptansätze mit jeweils zwei Unterpunkten für die Beschaffung von BIM-Modellen definiert:

1. Die Universität erhält Bauwerksmodelle aus der Wirtschaft, die nach industriellen Standards erstellt wurden. Diese Modelle sind entweder reale Bauprojekte, die direkt von einem Bauunternehmen stammen, oder werden von externen Dienstleistungsunternehmen speziell für universitäre Zwecke erstellt.
2. Die Bauwerksmodelle werden universitätsintern für Bildungszwecke erstellt. Entweder erstellen die Lehrpersonen BIM-Modelle für den Unterricht basierend auf 2D-Unterlagen, oder die Studierenden generieren die Modelle eigenständig im Unterricht.

Reale Modelle, die direkt aus der Bauwirtschaft stammen, werden von den Lehrpersonen als effektive Möglichkeit angesehen, den Studierenden praxisnahe Lernerfahrungen zu vermitteln. Der Vorteil liegt darin, dass keine separaten Bauwerksmodelle generiert werden müssen, sondern bestehende herangezogen werden können. Das Problem bei der Verwendung solcher Modelle ist, dass diese als geistiges Eigentum gelten und deshalb von den Baufirmen nicht für Unterrichtszwecke zur Verfügung gestellt werden. Die zweite Möglichkeit, externe BIM-affine Unternehmen zu beauftragen auf Basis von 2D-Dokumenten ein Modell zu erstellen, stellt sich auf lange Sicht als zu kostenintensiv dar.

Schließlich wurde auf die zweite Methode der Modellbeschaffung zurückgegriffen. Hierbei gestaltete sich die Zusammenarbeit mit dem Institut „Unitec Strategic Property Development Department“ als sehr nützlich, da das Department BIM-Modelle an das Unitec Institute of Technology übergeben hat, die in weiterer Folge für die Lehre von BIM verwendet werden können. Modelle von Wohnhäusern und Tragwerken werden verwendet, um die Grundprinzipien von BIM zu veranschaulichen und in die vierte und fünfte Dimension von BIM einzuführen. Zusätzlich zu den überlieferten Modellen wurden intern einfache, weniger umfangreiche Modelle generiert, die eingesetzt werden, um individuelle Lernziele zu erreichen.

#### *Ausbildung*

An dem Unitec Institute of Technology wird BIM in den Bachelorkursen des Bauwesens gelehrt, wobei der Ausbildungsansatz des projektbasierten Lernens angewendet wird. Der Schwerpunkt der BIM-spezifischen Ausbildung liegt nicht auf dem Lernen digitaler Entwurfsfähigkeiten, sondern auf den Aufgaben und Tätigkeiten der Projektentwicklung.

Die Studierenden untersuchen die Anwendungsgebiete von BIM in den verschiedenen Bereichen der Bautechnik, wobei Informationsmodelle als Visualisierungswerkzeug verwendet werden. Eine hohe Detailgenauigkeit der verwendeten Modelle ist für das Verständnis der Fertigungs- und Installationsdetails der verschiedenen Bausysteme und Bauleistungen vorteilhaft. Zudem ist es wesentlich, dass die verwendeten Modelle übereinstimmende, widerspruchsfreie Konstruktionen darstellen, weil die Studierenden zu Beginn des Lernprozesses noch nicht zwischen normkonformen und nicht normkonformen Konstruktionen unterscheiden können.

Ein weiterer Kurs umfasst das Planen und Organisieren von Bauprojekten im mittleren Schwierigkeitsgrad durch das Verwenden eines einzigen BIM-Modells. Als der Kurs im Jahr 2014 das erste Mal angeboten wurde, war das zur Verfügung gestellte Bauwerksinformationsmodell zu umfangreich und detailliert, sodass die Kursteilnehmer von der Datenmenge überfordert waren. Im darauffolgenden Jahr 2015 wurde ein vereinfachtes Informationsmodell für 4D-Simulationen und Arbeitsaufgaben verwendet. Die Studierenden erhielten stufenweise Anleitungen in schriftlicher Form oder in Videos für die Ausarbeitung und Bewerkstelligung verschiedener Prozesse. Diese detaillierten Anleitungen halfen den Studierenden sich auf einen bestimmten Prozess zu konzentrieren und die Aufgaben zu lösen.

Im Jahr 2015 wurde erstmals ein vertiefender Kurs angeboten, in welchem aktuelle Probleme und Fortschritte bei der Nutzung von BIM in den verschiedenen Bauprozessen untersucht wurden. Die Kursinhalte werden fortlaufend den Veränderungen und neuen Erkenntnissen der Wirtschaft angepasst. Das Ziel des Kurses ist es, die vorhandenen, grundlegenden Fähigkeiten und Kenntnisse über BIM, die bereits in vorangegangenen Kursen gelehrt wurden, auf Grundlage aktueller Anwendungen aus der lokalen Bauwirtschaft zu verbessern und zu ergänzen. Hierfür werden sowohl nicht-aktive Ressourcen als auch ein BIM-Modell verwendet, um die Grundlagen und primären Werkzeuge von Anwendungsmodellen zu erforschen und ein Verständnis für erfolgreiche Untersuchungs-, Analyse- und Simulationsprozesse zu entwickeln.

#### *Resümee*

Ziel der BIM-spezifischen Ausbildung am Unitec Institute of Technology ist es, mit projektbasierten Lernansätzen den Studierenden den Einfluss von Building Information Modeling auf die Prozesse des Bauprojektmanagements aufzuzeigen.

Das Unitec Institute of Technology hat Nachforschungen bezüglich Ressourcenbeschaffung durchgeführt, um die möglichen und effektivsten Ausbildungsressourcen für den BIM-spezifischen Unterricht zu untersuchen und zu analysieren, welche Ressource für welche Lernerfolge am besten eingesetzt werden. Aufgrund der breiten Auswahl an nicht-aktiven Lehrressourcen und dem Umstand, dass diese Ressourcen durch die rasche Entwicklung sehr schnell veralten, wurde beschlossen, dass

die Studierenden eigenständig relevantes Ausbildungsmaterial zusammenstellen. Der Vorteil liegt darin, dass die Studierenden selbstständiges Arbeiten lernen und das Lehrpersonal unterstützt wird.

Bezüglich der aktiven Lernressourcen hat das Unitec Institute of Technology während des Implementierungsprozesses die Erfahrung gemacht, dass die für Unterrichtszwecke zur Verfügung gestellten Informationsmodelle nicht zu umfangreiche Daten enthalten dürfen, da die Studierenden vor allem zu Beginn der BIM-Ausbildung mit der Datenmenge überfordert sind. Im Gegensatz dazu ist es aber wichtig, dass ein bestimmter Grad an Genauigkeit der Datenmodelle vorhanden ist, damit Simulationen und Analysen durchgeführt werden können. Aus diesem Grund werden einfache Modelle für Demonstrationszwecke und für die Einführung in 4D- und 5D-Arbeitsweisen verwendet. Erst, wenn die Studierenden mit der BIM-Technologie vertraut sind, werden umfangreichere Gebäudemodelle verwendet. Der Detaillierungsgrad wird im Laufe der Ausbildung sukzessive gesteigert, sodass schrittweise erlernt wird, wie die Informationen und Daten eines Gebäudemodells zu verwenden sind.

### **3.12 China**

Die Polytechnic University Hong Kong hat Building Information Modeling schrittweise in die Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge des Bauwesens, der Immobilienwirtschaft und des Liegenschaftsmanagements integriert. Dieser Implementierungsprozess wird nachfolgend auf Basis eines Artikels von Wong et al. [120] beschrieben.

#### **Polytechnic University Hong Kong**

Für die Lehre von BIM wird hauptsächlich der integrierte Ausbildungsansatz gewählt, dabei werden die Studierenden sukzessive an die unterschiedlichen Aspekte von BIM in den verschiedenen Unterrichtsfächern herangeführt. Zu Beginn der Ausbildung werden die vielseitigen Anwendungsbereiche von BIM und anschließend die praktischen Anwendungen, also der Umgang mit Softwareprogrammen, gelehrt. Darüber hinaus wird auch ein eigenständiger, unabhängiger BIM-Kurs als Wahlmodul angeboten. Dieser Implementierungsansatz wurde gewählt, um die neuen Lehrinhalte über BIM bestmöglich in die bestehenden Lehrpläne zu integrieren ohne die bestehenden Ausbildungsstrukturen erheblich zu verändern.

Die BIM-spezifische Ausbildung an der Polytechnic University Hong Kong umfasst hauptsächlich Themen, die in die Aufgabenbereiche der Bauherrn, Bauunternehmen und Vermesser fallen. Die Lehrinhalte umfassen eine allgemeine Einführung in BIM, dessen aktuellen Entwicklungsstand sowie den Zusammenhang zwischen CAD und BIM. Neben den theoretischen Grundlagen lernen die Studierenden den Umgang mit Softwareprogrammen mit dem Schwerpunkt auf den Basisfunktionen in Autodesk Revit. Dazu zählen beispielsweise die Anwendung von Programmen für das Erstellen von Massenermittlungen, Terminplänen und Kostenschätzungen sowie die Beschaffung von Baumaterialien. Des Weiteren werden Clash Detections durchgeführt, um Fehler und Kollisionen in einem Bauwerksmodell zu erkennen und zu lösen. Zudem werden die Anwendungsmöglichkeiten von BIM im Facility Management und Immobilienmanagement demonstriert. Abschließend werden die möglichen zukünftigen Entwicklungen und Potentiale von BIM im Bauwesen aufgezeigt und diskutiert.

Aufgrund der Umfrageergebnisse plant die Polytechnic University Hong Kong weitere Veränderungen, um BIM-spezifische Ausbildungsschwerpunkte zu setzen. Im Unterrichtsfach „Zeichnen und CAD“ wird das Lernen herkömmlicher Zeichenmethoden sukzessive reduziert und durch BIM ersetzt. In einem neu entwickelten Kurs „Informationstechnologie für die Bauindustrie“ erhalten die Studierenden eine Einführung in herkömmliche und neu aufkommende Informationstechnologien, mit der Zentralen Frage, wie diese für das Lösen von Problemen eingesetzt werden können. Die Lehrinhalte werden durch Vorträge, Übungen und Laborübungen vermittelt und die Lösungsansätze der Aufgaben von den Studierenden in Präsentationen vorgestellt. In einem weiteren Kurs soll der kollaborative Ansatz von BIM vermittelt werden, wobei der Datenaustausch zwischen Planungs- und Ausführungsteams ein Kernthema der Lehre darstellt. Die Studierenden sollen lernen, wie Informationen effizient übertragen und Fehler reduziert werden können. Mit diesem Kurs wird die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen dem Entwurf- und Ausführungsteam in einem frühen Stadium eines Projekts verdeutlicht.

Um die Relevanz, Effektivität und Qualität der BIM-spezifischen Ausbildung an der Polytechnic University Hong Kong zu bestimmen und zu messen, wurden Umfragen mit den Studierenden, die an den BIM-bezogenen Kursen teilgenommen haben, durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Rückmeldungen sehr positiv ausgefallen sind. Der Großteil der Befragten gab an, dass sie gerne mehr über BIM – sowohl theoretische Hintergründe als auch den praktische Umgang – erfahren und erlernen möchten. Die Ausbildung erleichtert den Absolventen das Verstehen komplexer Konstruktionen. Befragungen bezüglich der Vorteile einer BIM-spezifischen Ausbildung haben ergeben, dass das Verständnis für die Gebäudestruktur verstärkt wird und wichtige Kenntnisse über andere Baubereiche erlangt werden. Viele Studierende sind davon überzeugt, dass sich die Ausbildung im Bereich BIM positiv auf die beruflichen Chancen auswirkt und dadurch das Selbstvertrauen bei Bewerbungen gestärkt wird.

### **3.13 Zwischenresümee**

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Literaturrecherche zusammengefasst. In der Abbildung 5 sind alle Universitäten in Europa und zusätzlich die Fachhochschulen in Österreich, die in diesem Kapitel ausführlich erläutert wurden, in einer Landkarte übersichtlich markiert. In der Abbildung 6 sind die beschriebenen Universitäten in Amerika, China und Neuseeland in einer Landkarte dargestellt.

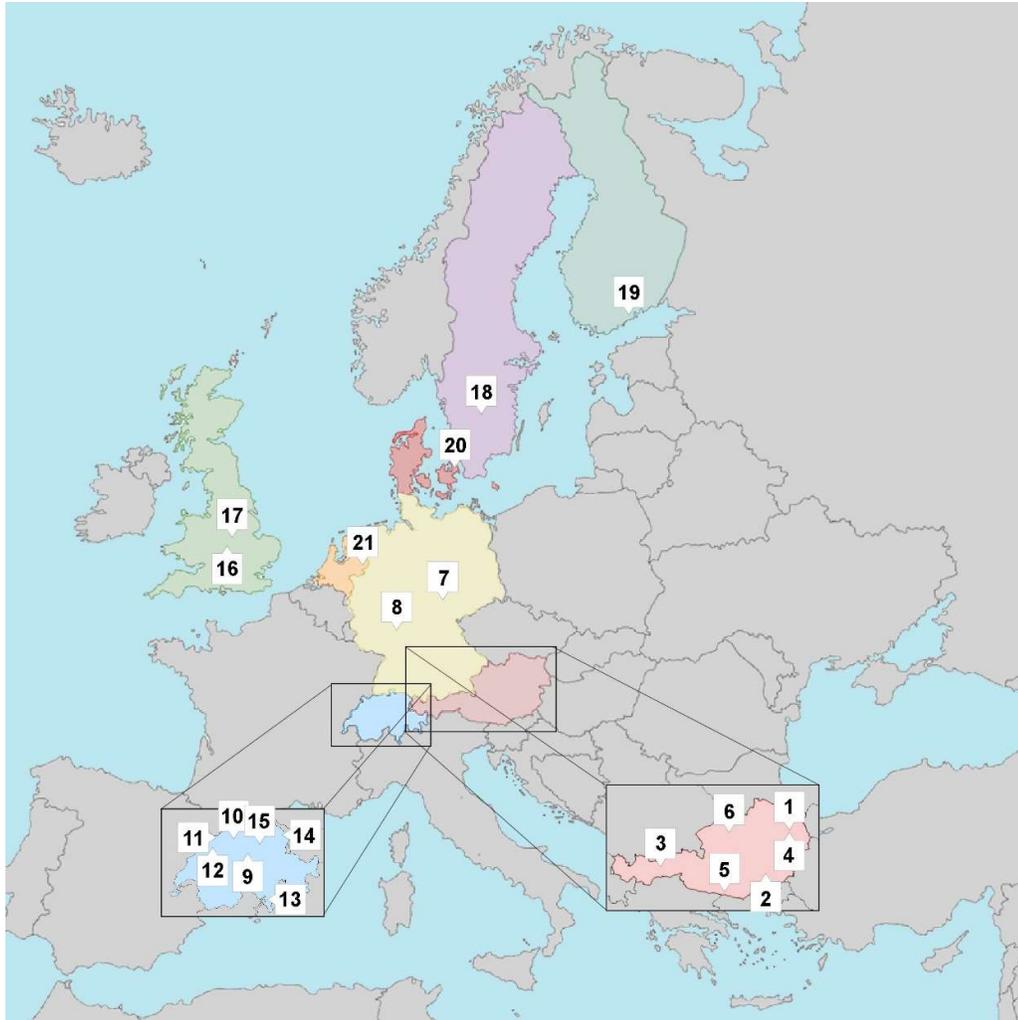


Abbildung 5: Darstellung der ausgewählten Bildungsinstitutionen in Europa

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von [52, 56, 91]

**Österreich**

- 1 TU Wien
- 2 TU Graz
- 3 Universität Innsbruck
- 4 FH Campus Wien
- 5 FH Kärnten
- 6 FH Oberösterreich

**Deutschland**

- 7 Bauhaus-Universität Weimar
- 8 Technische Universität Darmstadt

**Schweiz**

- 9 Hochschule Luzern
- 10 FH Nordwestschweiz
- 11 FH Westschweiz
- 12 Berner Fachhochschule
- 13 University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland
- 14 Fachhochschule Ostschweiz

- 15 Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

**Vereinigtes Königreich**

- 16 Universität Coventry
- 17 Universität Loughborough

**Schweden**

- 18 Universität Jönköping

**Finnland**

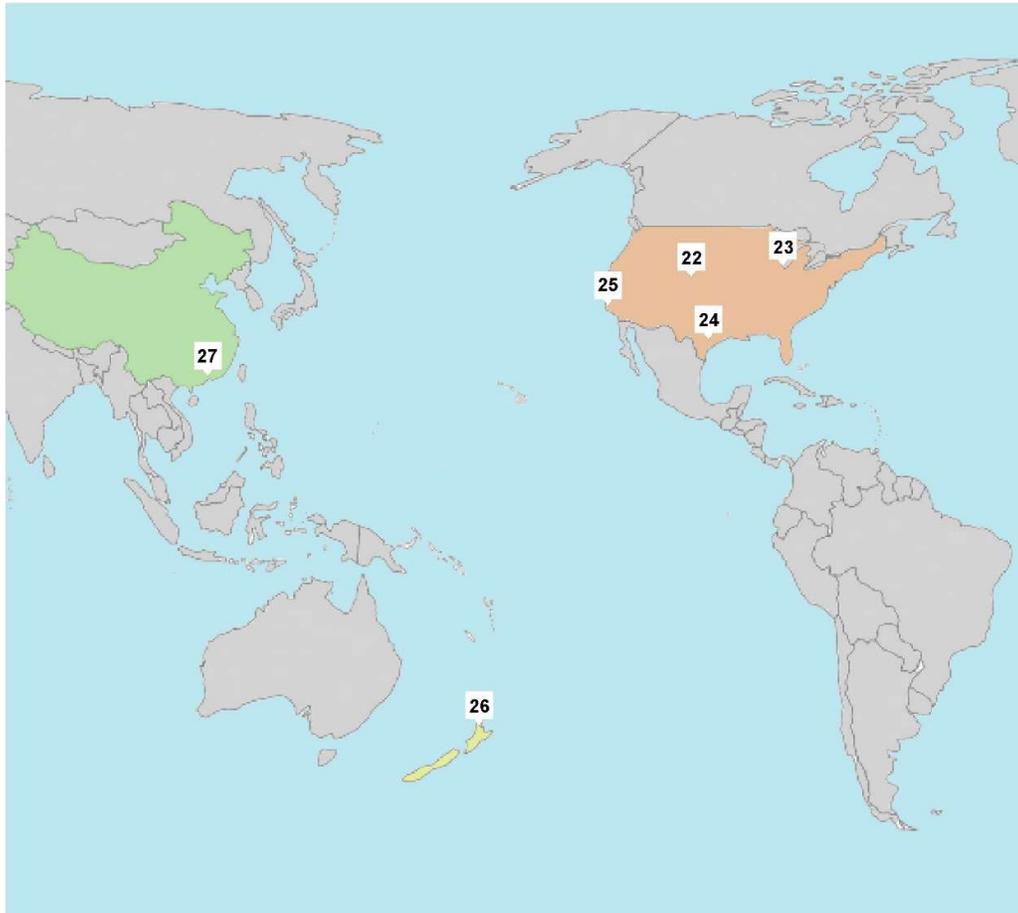
- 19 Helsinki Metropolia University of Applied Science

**Dänemark**

- 20 Technical University of Denmark

**Niederlande**

- 21 Twente University



**Abbildung 6: Darstellung der ausgewählten Bildungsinstitutionen in Amerika, Neuseeland und China**

**Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von [44]**

**Amerika**

- 22 Colorado State University
- 23 Illinois Institute of Technology
- 24 University of Texas at Austin
- 25 Stanford University

**Neuseeland**

- 26 Unitec Institute of Technology

**China**

- 27 Polytechnic University Hong Kong

Nachfolgend werden in der Tabelle 4 die einzelnen Universitäten und die jeweiligen Erkenntnisse, die in diesem Kapitel gewonnen wurden, aufgelistet. Die Zusammenfassung enthält die Lehrveranstaltungen, die an den jeweiligen Bildungsinstitutionen angeboten werden, mit den zugehörigen Lehrinhalten und Lernzielen. Je nach Informationsgehalt werden zudem die einzelnen Phasen des Implementierungsprozesses aufgezeigt und die Schritte, die in den jeweiligen Phasen unternommen wurden, erläutert.

<p><b>1. TU Wien</b></p>
<p><b>LVA „Planungsprozesse mit BIM“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BIM-spezifische Richtlinien und Regelwerke</li> <li>- BIM-Levels und BIM-Werkzeuge</li> <li>- Praktische Übungsaufgaben             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Entwickeln eines 3D-Modells eines Industriegebäudes</li> <li>o Statische Tragwerksberechnung</li> <li>o Erstellen einer Kalkulation</li> </ul> </li> </ul> <p><b>LVA „Integrated BIM Design Lab“ Wahlfach im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Theoretische Grundlagen durch Vorlesungen</li> <li>- Praktische Gruppenarbeit zwischen Studierenden der Architektur und des Bauingenieurwesens             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Entwickeln eines 3D-Modells eines Industriegebäudes</li> <li>o Entwickeln eines innovativen Gebäudekonzepts hinsichtlich Architektur, Tragwerk und Energieeffizienz für ein zur Verfügung gestelltes Bauwerk</li> <li>o Architektur: Konzipieren und Erstellen des 3D-Modells und hinterlegen der geometrischen Komponenten und technischen Daten</li> <li>o Bauwesen: Tragwerksberechnung und Energieberechnung</li> </ul> </li> <li>- Kollaborative Arbeitsweise</li> <li>- Datenaustausch und Dokumentation</li> </ul>
<p><b>2. TU Graz</b></p>
<p><b>LVA „Building Information Modeling“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anwendung von BIM in der Praxis</li> <li>- Modellieren von Gebäudemodellen und Bauprozessen</li> <li>- Datenaustausch und interoperable Daten</li> <li>- Durchführen von Simulationen und Prozessoptimierungen</li> <li>- Aufzeigen der Entwicklungspotentiale von BIM</li> </ul> <p><b>LVA „Building Information Modeling 1“ im Master</b></p> <p><b>LVA „Building Information Modeling 2“ im Master</b></p>
<p><b>3. Universität Innsbruck</b></p>
<p><b>LVA „BIM – 5D-Planung und Gebäudemodellierung“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Theoretische Grundlagen, wie BIM-Prozesse, BIM-Management und Standards, durch Vorlesungen</li> <li>- Praktische Übung mit der Software Revit             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Modellieren eines Wohnhauses</li> <li>o Ausgabe einer Bauteilliste</li> </ul> </li> <li>- Gastdozenten berichten über Erfahrungen und Fallbeispiele aus der Praxis</li> </ul>
<p><b>4. FH Campus Wien</b></p>
<p><b>LVA „CAD UE“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundzüge von BIM</li> <li>- Arbeitsweise mit intelligenten Bauobjekten</li> <li>- Abwickeln eines Projekts vom Vorentwurf bis zur Angebotskalkulation</li> </ul> <p><b>LVA „Building Information Modeling (BIM)“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaktive Vorlesung mit Gastvorträgen</li> </ul> <p><b>LVA „Integrale Planung 1“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktive Nachweisführung</li> <li>- Detailplanung</li> <li>- Bauablaufplanung, Vorkalkulation</li> </ul>

<p><b>LVA „Integrale Planung 2“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Für Studierende der Architektur und des Bauingenieurwesens</li><li>- Entwurfsprozesse</li><li>- Kalkulation, statische Nachweisführung, Terminplanung, bauphysikalische Nachweisführung</li></ul>
<p><b>5. FH Kärnten</b></p>
<p><b>LVA „CAD-3D“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Praktische Grundlagen des 3D-Modellierens</li><li>- Datenimport und -export</li><li>- Verknüpfung von geometrischen Daten in Softwareprogrammen</li></ul> <p><b>LVA „Building Information Modeling 1“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Erstellen und Bearbeiten von virtuellen Gebäudemodellen</li><li>- Grundlagen der Visualisierung mit BIM</li><li>- Zuordnen von Detailinformationen zu Bauteilen</li><li>- Massenermittlungen und Bauteillisten erstellen</li></ul> <p><b>LVA „Building Information Modeling 2“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Durchführen von Simulationen und Analysen durch Vernetzen der Daten im Modell</li></ul> <p><b>LVA „EDV 1 – Applied Computing in Civil Engineering 1“</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Grundlagen von BIM</li><li>- Digitale Datenverarbeitung</li><li>- Datenvisualisierung mit Microsoft Excel und Visio</li></ul>
<p><b>6. FH Oberösterreich</b></p>
<p><b>Modul „CAD &amp; Darstellende Geometrie“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Datenaustausch zwischen verschiedenen CAD und BIM-Programmen</li></ul>
<p><b>7. Bauhaus-Universität Weimar</b></p>
<p><b>LVA „BIM-basiertes Baumanagement“</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Grundlagen von BIM durch Vorlesungen und Vorträge</li><li>- Ausarbeiten einer praktischen Übungsaufgabe<ul style="list-style-type: none"><li>o Auswählen einer geeigneten Software für die Aufgaben</li><li>o 3D-Modellieren</li><li>o Datenaustausch zwischen Softwareprogrammen</li><li>o Erstellen eines Terminplans</li><li>o Visualisieren des Bauablaufs</li><li>o Ermittlung der Baukosten</li></ul></li><li>- Ausarbeiten einer Semesterarbeit über eine fachspezifische Fragestellung und präsentieren der Lösungsansätze und -methoden anhand eines BIM-Modells</li></ul>
<p><b>8. Technische Universität Darmstadt</b></p>
<p><b>Modul im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Grundlagen von BIM durch Vorlesungen</li><li>- Anwendungsorientierter Umgang mit Softwareprogrammen anhand eines zur Verfügung gestellten Gebäudemodells</li><li>- Praktische Übungsaufgabe: Vergleichen der konventionellen baubetrieblichen Arbeitsweisen und Planungsmethoden mit BIM-basierten Methoden und Identifizieren von Optimierungspotentialen</li></ul>

<p><b>LVA im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Anhand eines umfangreichen Gebäudemodell mit einer hohen Informationstiefe führen die Studierenden Übungen in den Bereichen der Terminplanung, Kalkulation und Bauverfahrenstechnik aus.</li><li>- Verknüpfen der Ergebnisse mit dem Datenmodell</li></ul> <p><b>Eigenständiges Modul „Digitales Bauprozessmanagement“</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Studierende beteiligen sich an aktuellen Forschungsfragen auf dem Gebiet „Digitalisierung des Bauwesens“</li><li>- Präsentieren von theoretischen Grundlagen über das aktuelle Forschungsthema</li><li>- Anwenden von Modellierungswerkzeugen für die Ausarbeitung der Forschungsfrage</li></ul>
<p><b>9. Hochschule Luzern</b></p>
<p><b>LVA „BIM (Building Information Modelling)“ Wahlfach im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Modellieren und Visualisieren von 3D- und 4D-Modellen</li><li>- Anwendungsbereich von BIM in den Planungsprozessen</li><li>- Durchführen von statischen und bauphysikalischen Gebäudesimulationen</li></ul>
<p><b>10. FH Nordwestschweiz</b></p>
<p><b>LVA „BIM“ Wahlfach im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Vermitteln von allgemeinen Begriffsbestimmungen im Zusammenhang mit BIM</li><li>- Lehre von BIM als Methode und als Prozess</li><li>- Modelle prüfen und koordinieren</li><li>- Informationsmanagement und Informationsaustausch</li><li>- Herstellen eines Bezugs zur Anwendung von BIM in der Praxis</li></ul>
<p><b>9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. Fachhochschulen Schweiz</b></p>
<p><b>LVA „Building Information Modelling“ im „Master of Science in Engineering“</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Grundlagen von BIM<ul style="list-style-type: none"><li>o Definition von BIM</li><li>o Unterschied zwischen CAD und BIM</li><li>o Dimensionen von BIM</li><li>o BIM-Plattformen und Werkzeuge</li><li>o BIM-Standards</li></ul></li><li>- Zusammenarbeit in interdisziplinären Projekten</li><li>- Informationsmanagement und Informationsaustausch</li><li>- Bildbasierte Datenerfassung mit Laserscanning</li><li>- Einsatzbereich von BIM in Infrastrukturbauten, der Geologie und Geotechnik</li><li>- Anwendungsbereiche von BIM in der Architektur, Tragwerksplanung, Bauphysik und im Facility Management</li></ul>
<p><b>16. Universität Coventry</b></p>
<p><b>Erste Implementierungsphase:</b> einmaliger, zweijähriger Kurs als Übergangslösung</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Grundlagen und Zusammenhänge von BIM durch Vorträge</li><li>- Arbeiten mit dem PIP</li><li>- Informationsmanagement</li><li>- Kollaborative und integrierte BIM-Arbeitsmethoden</li></ul>

**Zweite Implementierungsphase:** Integration von BIM in die Bachelorausbildung

*Erstes Studienjahr Bachelorstudium*

- Kollaborative Arbeitsweise
- Grundlegende Prinzipien von BIM
- 3D-Modellieren
- Arbeiten mit einem Projekt-Implementierungs-Plan
- BIM-Arbeits- und Informationsaustauschprozesse
- BIM-Richtlinien und Standards

*Zweites Studienjahr Bachelorstudium*

- Modellieren von Bauwerken mit hohem Detaillierungsgrad
- Software-Workshops in allen konstruktiven und ingenieurmäßigen Kursen
- Analysieren und Steuern des Bauwerksmodells: Kosten- und Mengenermittlung und Energiebilanz

*Drittes Studienjahr Bachelorstudium*

- Für Studierende verschiedener Fachrichtungen
- Gemeinschaftliches, realitätsnahes Übungsprojekt mit dem Ansatz von Open BIM
- Einführung der Rolle des BIM-Koordinators
- Arbeiten an einem bestehenden Gebäudemodell in den Softwareprogrammen Revit und Sketch Up
- Verknüpfen und Integrieren der drei Komponenten: architektonisches Design, strukturelles Design und Nachhaltigkeit für eine ressourcenschonende Bauweise
- Planen eines Anbaus an ein bestehendes 3D-Modell und Entwerfen eines Tragwerks
- Durchführen einer kohlenstoffarmen Sanierung und Modernisierung eines bestehenden Gebäudes (Energiebilanz, Einsatz von Ressourcen)
- Informationsmanagement und Informationsaustausch
- Dokumentation und Zusammenfügen der Informationen zu einem interoperablen Planungspaket
- Nutzen einer kollaborativen und gemeinschaftlichen Arbeitsumgebung

**17. Universität Loughborough**

**Erste Implementierungsphase:** Einbetten von BIM in wesentliche Kurse

- Folgende BIM-bezogene Ausbildungskomponenten wurden in ausgewählte Module integriert
  - o Theoretische Grundlagen
  - o Konzeptionelle Hintergründe
  - o Kollaborative Prozesse
  - o Verwenden von Dokumenten (Richtlinien und Konzepte)
- Fachkräfte der Bauwirtschaft präsentieren in Vorträgen Forschungsergebnisse und praktische Anwendungsgebiete von BIM

**Zweite Implementierungsphase:** „Mission BIMpossible“ Workshop

- Fünftägiger Workshop als Übergangslösung für fortgeschrittene Studierende, welche die neuen BIM-Kurse nicht besuchen können
- Austausch mit Fachkräften aus der Baubranche und Knüpfen von wichtigen Kontakten
- Modellieren und Visualisieren von Modellen mit Hilfe von Video-Tutorials
- Modellieren eines dreigeschossigen 4D-Gebäudemodells

**Dritte Implementierungsphase:** Entwickeln von drei neuen BIM-Modulen

*Erste Ausbildungsstufe:* Anfänger „BIM Modellierer“

- Grundlegende Prinzipien und Konzepte von BIM
- Anwendungen von BIM-Technologien (Modellieren und Umgang mit Daten)
- Verständnis für interoperable Daten mit kompatiblen Formaten
- Kollaborative Arbeitsweise

*Zweite Ausbildungsstufe:* Fortgeschritten „BIM-Analytiker“

- Verständnis von BIM-Richtlinien und Standards
- Interdisziplinäre 3D-, 4D- und 5D-Modelle erstellen
- Koordinieren der BIM-Modelle und Nutzung einer gemeinsamen Datenumgebung
- Clash Detections

*Dritte Stufe:* Selbststudium „Praktikum“

- Industriebasierte Anwendung von BIM
- Anwendungsgebiete und Bedarf von BIM in der Baubranche
- Optimieren der praktischen Fähigkeiten
- Chancen und Herausforderungen bei der praktischen Anwendung von BIM

*Vierte Stufe:* Vertiefung „BIM-Manager“

- Anwenden von BIM in der Diplomarbeit für die Beantwortung wissenschaftlicher Forschungsfragen

#### **18. Universität Jönköping**

##### **Eigenständiges Masterstudienprogramm im Bereich BIM „Sustainable Building Information Management“**

- Zweijährige Ausbildung
- Unterricht basiert auf internationalen Standards
- Produktentwicklung für nachhaltiges Bauen
- Informationsmanagement und Informationsaustausch
- Umgang mit modernen digitalen Technologien, wie BIM und Geographic Information System (GIS)
- BIM-Strategien aufzeigen (Koordination und Management von BIM-Projekten)
- Modellieren, Visualisieren, Simulieren, Analysieren, Optimieren
- Kommunikation, prozessorientiertes Arbeiten und Organisationsmanagement

#### **19. Helsinki Metropolia University of Applied Science**

##### **Herangehensweise der Universität beim Implementierungsprozess: Weiterbildung für ausbildende Lehrpersonen im Bereich BIM**

- Praktische Übungseinheiten für Lehrpersonen
- Gastvorträge von Fachkräften aus der Bauwirtschaft
- Schulungen von BIM-Softwareanbietern
- Veranschaulichen, wie BIM im jeweiligen Fachbereich integriert werden kann
- Abschlussprojekt im Kurs
  - o Lerneinheit im eigenen Fachbereich vorbereiten
  - o BIM in eigenen Lehrplan eingliedern als effektives Werkzeug zur Unterstützung
- Lehrpersonal wird motiviert bisherige Methoden zu überarbeiten

#### **20. Technical University of Denmark**

##### **Mehrere Kurse mit Open BIM für Studierende im Bachelor und Master sowie für Doktoranden**

- Einführung in das Konzept von BIM und Open BIM
- Nutzung von Open BIM für Analysen und Auswertungen
- Informationsmanagement und Informationsaustausch
- Datenaustauschformate: BIM Collaboration Format, Information Deliver Manual, IFC
- Lösen von konkreten ingenieurwissenschaftlichen Problemen mit der Anwendung von BIM
- Aufzeigen aktueller Herausforderungen mit BIM in der Baubranche

<p><b>21. Twente University</b></p>
<p><b>LVA „Integriertes Projektmanagement“ im Master</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Theoretische Grundlagen: Konzept von BIM, Aspekte des integrierten Projektmanagements durch Vorlesungen</li> <li>- Studierende wählen Projektmanagementprogramme und Softwareprogramme für die Ausarbeitung der Übungsaufgabe aus</li> <li>- Bearbeiten eines umfangreichen, realitätsnahen Projekts: Vernetzen und verknüpfen der PM-Aspekte: Leistungsumfang, Zeit und Kosten             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Entwickeln eines integrierten Projektplans</li> <li>o Erstellen eines 3D-BIM-Modells aus 2D-Plänen</li> <li>o Erstellen einer modellbasierten Kalkulation</li> <li>o Entwickeln eines Bauzeitplans mit einem 4D-Softwareprogramm</li> <li>o Zusammenfügen der Daten zu einer Projektumgebung</li> <li>o Einarbeiten von drei Änderungen betreffend Arbeitsumfang, Zeit oder Kosten</li> <li>o Aufzeichnen der einzelnen Schritte bei der Erstellung des integrierten Projektplans, Festhalten der Strategien für die Ausarbeitung</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>22. Colorado State University</b></p>
<p><b>Erste Implementierungsphase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestehende Kurse überarbeiten und BIM-spezifische Lehrinhalte integrieren</li> <li>- Kurse mit den Lehrinhalten Vorentwurf, Kostenschätzung, Terminplanung, Auftragsvergabe, Baustofflehre und Bauablaufplanung wurden überarbeitet</li> <li>- Unterstützung durch die Baubranche durch zur Verfügungstellung von Lernressourcen, online Lernsoftwareprogrammen, Lizenzen und Modellen</li> <li>- Verbessern der Kommunikation und Kollaboration durch interaktive Lerntechniken</li> <li>- Studierende für BIM-basierte Arbeitsprozesse motivieren und Chancen aufzeigen</li> </ul> <p><b>Zweite Implementierungsphase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwickeln eines eigenständigen, unabhängigen BIM-Kurses für nichtintegrierbare Lehrinhalte</li> <li>- Methoden der Datenein- und -ausgabe erforschen</li> <li>- Hinterfragen von Analysen und Entscheidungen</li> <li>- Animieren drehbarer Visualisierungen</li> <li>- Zusammenarbeit mit der Baubranche ermöglicht das Verwenden hochwertiger Übungsmodelle, Prozessdiagramme und Kostenzusammenhänge</li> <li>- Verwenden der Software „Adobe Captivate“             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Elektronisches Lernumfeld unabhängig von der ursprünglichen BIM-Software</li> <li>o Durchführen von Softwaredemonstrationen und interaktiven Simulationen</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>23. Illinois Institute of Technology</b></p>
<p><b>LVA „Einführung von BIM“ im Bachelor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfluss von BIM auf Planungs- und Entwurfstätigkeiten</li> <li>- Integrierte Entwurfsprozesse mit der BIM-bezogenen Arbeitsweise und BIM-Technologien</li> <li>- Informationsmanagement und Informationsaustausch mit BIM-Softwareplattformen</li> <li>- Lösen von praxis- und realitätsnahen Problemstellungen</li> <li>- BIM-Werkzeuge, BIM-Arbeitsabläufe und BIM-Prozesse</li> <li>- Modellieren eines 3D-Projekts mit der Software Revit</li> <li>- Arbeiten mit analytischen Werkzeugen für statische Berechnungen und Energieanalysen</li> <li>- Kollaborative Arbeitsweise, strukturierte Dokumentation</li> <li>- Gastlektoren aus der Bauwirtschaft zeigen Methoden und Verfahren für die Zusammenarbeit</li> </ul>

**LVA „Bauprozessmanagement mit BIM“ im Master**

- Anwendung von BIM im Bauprozessmanagement
- Informationsmanagement und kollaborative Arbeitsweise
- Entwicklung und Durchführung von BIM-Strategien
- Schulen von sozialen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten
- BIM-Werkzeuge
- Anwendungsbereiche von BIM für verschiedene Fachbereiche: Eigentümer, Facility Manager, Architekten, Ingenieure, Auftragnehmer, Subunternehmer, Herstellerfirmen
- Clash Detections
- Modellbasierte Massenermittlungen, Kostenschätzungen und Terminplanung, Änderungsmanagement mit der Software Vico
- Durchführen von praxisnahen Baumanagementaufgaben
- Entwickeln eines BIM-Projektentwicklungsplans

**LVA's basieren auf der experimentellen Lehrmethode**

- Lernen durch analytische Reflektion des eigenen Tuns und durch eigene Erfahrung
- Eigenständiges Erarbeiten von Verbesserungsmöglichkeiten
- Reflektieren, ob eine Methode oder Herangehensweise funktionieren könnte
- Fördern des individuellen Lernprozesses

**24. University of Texas at Austin**

**Ausbildung basiert auf problembasiertem und kooperativem Lernen**

- Aufgabenorientierte Lernmethode
- Eigenständige Lösungsvorschläge für reale, praxisbezogene Problemstellungen erarbeiten und abwägen
- Präsentieren und diskutieren der Erkenntnisse und Lösungsvorschläge
- Zusammenarbeit in Teams
- Aufgaben der Studierenden sind voneinander abhängig → große Eigenverantwortung beim Einzelnen
- Teammitglieder unterstützen sich gegenseitig, um gemeinsames Ziel zu erreichen

**BIM Kurs**

- Für Studierende im Bachelor und Master
- Theoretische Grundlagen durch Vorlesungen
- Kollaborativer Managementprozess
- BIM-bezogene Arbeitsweise in den verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes
- Positiver Einfluss von BIM auf das Projektergebnis
- Simulationen anhand eines vormodellierten Modells, BIM-basierte Projekte aus der Wirtschaft
  - o Modellbasierte Kostenschätzung
  - o Modellbasierte Bauzeit- und Ablaufplanung
  - o Koordinieren der Konstruktion
  - o Photogrammetrische Erzeugung von Modellen
- Präsentation, Reflektion und Diskussion der Ergebnisse
- Durchführen einer Fallstudie in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen
  - o Auswählen eines realen Projekts, in welchem BIM angewandt wird
  - o Ausarbeiten verschiedener Fragestellungen
  - o Präsentieren des Projekts und der Ergebnisse

**Mitwirken der Bauwirtschaft**

- Kooperation mit der „Austin BIM Peer Group“
- Integrieren von Forschungsergebnissen und neuen Erkenntnissen aus der Wirtschaft
- Schildern von persönlichen Erfahrungen über die Implementierung von BIM in Unternehmen
- Veranschaulichen durch eigene Projekte
- Kommunikation zwischen den Studierenden und den Teilnehmern der BIM Peer Group
- Unterstützen bei der Fallstudie

**Beurteilung von Studierenden**

- Beruht auf den Endergebnissen der Aufgaben, auf geführten Diskussionen und auf dem Verständnis der praxisbezogenen Aufgaben
- Gruppenbeurteilung: Studierende bewerten Leistungen, Entwicklungen und das Verhalten der anderen Gruppenmitglieder
- Einzelbeurteilung: Diskussion und ausgearbeitete Fragen
- Einzelbeurteilung im Master: zusätzlich Abgabe von Berichten

**25. Stanford University**

**LVA “Management von Bau und Ausführung“ im Master**

- Projektbasiertes Lernen
- Vorlesungen, Übungen, Laborübungen, Teamprojekte, Präsentationen, Diskussionen und Prüfung
- Realitätsnahe Aufgaben an einem zur Verfügung gestellten BIM-Modell
- Zeigen von Problemen im Projektmanagement bei nichtintegrierten Projekten
- Ausarbeiten einer Übungsaufgabe
  - o BIM-Modell und Projektunterlagen werden zur Verfügung gestellt
  - o Verknüpfen der BIM-Komponenten mit den Arbeitsvorgängen
  - o Ermitteln des Leistungsumfangs
  - o Erstellen eines Terminplans
  - o Berechnen des Ressourcenbedarfs
  - o Generieren eines 4D-Modells
  - o Erstellen einer Kostenschätzung
- In Zusammenarbeit mit einem Unternehmen wird ein Building Information Model für ein bestehendes Projekt erstellt und die Ergebnisse präsentiert

**26. Unitec Institute of Technology**

**Herangehensweise beim Implementierungsprozess**

- Untersuchen verschiedener Lehrverfahren und Ausbildungsstrategien und Bewertungsverfahren
- Bestimmen des Grads der BIM-spezifischen Ausbildung
- Weiterbilden der Lehrpersonen hinsichtlich grundlegender BIM-Kenntnisse und dem Umgang mit Softwareprogrammen
- Untersuchen, welche Lehrmittel und -materialien verwendet werden

**BIM im Bachelor**

- Projektbasierter Lernansatz
- Aufgaben und Tätigkeiten der Projektentwicklung
- Anwendungsgebiete von BIM in den verschiedenen Bereichen der Bautechnik
- Planen und Organisieren eines Bauprojekts anhand eines zur Verfügung gestellten Modells
- Stufenweise Anleitungen durch Handouts oder Video-Tutorials
- Untersuchen von aktuellen Problemen und Fortschritten bei der Nutzung von BIM bei verschiedenen Bauprozessen
- Untersuchen, Analysieren und Simulieren von Bauprozessen

27. Polytechnic University Hong Kong
<p><b>BIM in Unterrichtsfächer integriert und zusätzlich ein eigenständiger BIM-Kurs als Wahlmodul</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BIM in den Aufgabenbereichen des Bauherrn, der Bauunternehmer, Vermesser, Facility Manager und im Immobilienmanagement</li> <li>- Theoretische Grundlagen: Einführung, Entwicklungsstand, Zusammenhang CAD und BIM</li> <li>- Umgang mit Softwareprogrammen mit dem Schwerpunkt auf Revit: Massenermittlung, Terminplanung, Kostenschätzungen, Baumaterial Beschaffung</li> <li>- Clash Detections</li> <li>- Mögliche zukünftige Entwicklungen und Potentiale von BIM im Bauwesen</li> </ul> <p><b>Zukünftige Änderungen im Lehrplan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herkömmliche Zeichenmethoden sukzessive reduzieren und durch BIM ersetzen</li> <li>- Neue LVA „Informationstechnologie für die Bauindustrie“ entwickeln <ul style="list-style-type: none"> <li>o Einsatz von neuen und herkömmlichen Informationstechnologien für das Lösen von Problemen</li> <li>o Vorträge, Übungen und Laborübungen, Präsentieren von Lösungen</li> </ul> </li> <li>- Neue LVA entwickeln, um den kollaborativen Ansatz von BIM zu vermitteln <ul style="list-style-type: none"> <li>o Datenaustausch zwischen Planungs- und Ausführungsteams</li> <li>o Zusammenarbeit zwischen Entwurfs- und Ausführungsteam</li> </ul> </li> </ul>

**Tabelle 4: Erkenntnisse der ausgewählten Bildungsinstitutionen**

Die Recherche dieses Kapitels hat gezeigt, dass die einzelnen Bildungseinrichtungen unterschiedliche Ausbildungsmethoden und -strategien bevorzugen, BIM zu lehren. Beispiele für mögliche Lernstrategien sind projektbasiertes Lernen, experimentelles Lernen oder problembasiertes Lernen in Form von Einzel- oder Gruppenarbeiten. Erfahrungsberichte, die auf Studierendenbefragungen basieren, zeigen, dass verschiedene Lehrmethoden zielführend und erfolgreich sind und jeder Ansatz sowohl Vorteile als auch Defizite aufweist. Es gibt somit keine einzig richtige, erfolgsversprechende Möglichkeit BIM an Universitäten zu lehren.

Zudem hat jede Bildungsinstitution eigene Themenschwerpunkte und Ausbildungsinhalte, wobei das angestrebte Level an BIM-basierten Fähigkeiten ebenfalls differiert. Während manche Universitäten eine starke praxisbezogene Ausbildung durch Übungsaufgaben mit Softwareprogrammen bevorzugen, liegt der Schwerpunkt anderer Universitäten auf theoretischen, prozessorientierten Lehrinhalten.

Wie bei der Ausbildungsstrategie gibt es auch verschiedene Bewertungsmöglichkeiten von studentischen Leistungen. An der Bauhaus Universität Weimar beispielsweise erfolgt die Leistungsbeurteilung durch eine Präsentation der Ergebnisse und Lösungsvorschläge und einer Seminararbeit. An der Stanford University sind Gruppendiskussionen und Prüfungen ein Teil der Beurteilung.

Die Recherche hat zudem gezeigt, dass jede Bildungseinrichtung eine andere Vorstellung hat, bis zu welchem Niveau bzw. Level BIM an Universitäten gelehrt werden soll. Somit ist es die Aufgabe jeder Universität selbständig inhaltliche Schwerpunkte zu setzen. Wie beispielsweise die Situation im Vereinigten Königreich zeigt, steht eine rasche Implementierung von BIM in den Lehrplan in direktem Zusammenhang mit Verordnungen der Regierung. Die Unterstützung von Fachkräften der Baubranche fördert zusätzlich die BIM-spezifische Ausbildung. Die Nachforschungen haben ergeben,

dass sich die Zusammenarbeit von Universitäten, Bauunternehmen und der Regierung positiv auf die Integration von BIM in den Lehrplan auswirkt.

Die Integration von Building Information Modeling in der Bauwirtschaft hat Einfluss auf zahlreiche Aspekte des Bauingenieurwesens, wodurch sich verschiedene Aufgabenbereiche ändern. Um auf die Tätigkeiten im späteren Berufsleben vorbereitet zu sein, müssen die Absolventen eines Bauingenieurstudiums bereits in ihrer Ausbildung mit dem Thema und den Werkzeugen des BIM vertraut werden. Neben eigenständigen Masterstudiengängen mit dem Schwerpunkt BIM ist es zudem wichtig die umfangreiche Methode von Building Information Modeling in bestehende Studienpläne des Bauingenieurwesens zu integrieren, um den Absolventen eine breitgefächerte und umfangreiche Ausbildung in den verschiedenen Bereichen des Bauwesens anzubieten. Da BIM einen immer größeren Stellenwert in der internationalen Bauwirtschaft einnimmt, müssen die Studierenden in diesem Bereich ausgebildet werden.

Bevor BIM in den Lehrplan integriert wird, ist es wichtig, den Lehrpersonen die Möglichkeit zu geben, sich in diesem Bereich weiterzubilden. In Form von Workshops können dem Lehrpersonal zentrale Aspekte von BIM vermittelt werden, die im jeweiligen Fachbereich von Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang werden zudem Möglichkeiten aufgezeigt, wie BIM in bestehende Kurse integriert werden kann.

Die Erfahrungsberichte von Universitäten bilden eine wichtige Grundlage für den weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit. Anhand der Recherche werden allgemeine Lehrziele von BIM hergeleitet und Strategien ausgearbeitet, wie BIM in einen Lehrplan integriert werden kann. Zudem haben sich im Zuge der Nachforschungen wichtige Kernpunkte herauskristallisiert, die bei der Implementierung von BIM beachtet werden müssen. Für die Ausarbeitung eines Handlungsplans für die Lehre von Building Information Modeling an der TU Wien in Kapitel 6 bilden die Erkenntnisse, Feststellungen und Erfahrungen der Universitäten, die in diesem Kapitel aufgearbeitet wurden, eine zentrale Rolle.

## 4 INTEGRATION VON BIM IN DIE LEHRE

Im Rahmen des vierten Kapitels werden allgemeine Ziele in der Lehre von Building Information Modeling aufbereitet und definiert. Anschließend werden die Herausforderungen aufgezeigt, die sich bei der Implementierung von BIM in den Lehrplan ergeben und vier verschiedene Strategien vorgestellt, wie BIM in einen Lehrplan integriert werden kann. Zudem wird in diesem Kapitel ein Konzept vorgestellt, mit grundsätzlichen Überlegungen, die bei einem Eingliederungsprozess einzubeziehen sind.

### 4.1 Ziele der BIM-Ausbildung

Anforderungen an die Bauingenieurausbildung betreffend BIM sind vielseitig und die Meinungen der Experten, die in der Wirtschaft tätig sind, und der universitären Lehrpersonen unterscheiden sich. Basierend auf den Erkenntnissen in Kapitel 3 werden nachfolgend allgemeine Ziele definiert, die Professoren, Baufirmen, Planer, Auftraggeber und Studierende mit einer Ausbildung im Bereich BIM anstreben.

Building Information Modeling beinhaltet zahlreiche Komponenten des Bauwesens, welche in die drei Kategorien Technologie, Prozesse und Menschen gegliedert werden können. Diese drei Themenbereiche wiederum beschreiben als Oberbegriffe die Ziele, die in der Lehre von BIM verfolgt werden. Diese drei Aspekte sind für Fachkräfte notwendig, um eine Aufgabe mit der BIM-basierten Arbeitsweise lösen und bewältigen zu können. Es kann keine klare Abgrenzung zwischen den einzelnen Themenbereichen gemacht werden, da sich inhaltliche Aspekte teilweise überschneiden. [72]

#### Technologie

Bei der Abwicklung von Projekten mit BIM stehen zunächst die technischen Aspekte, also der Umgang mit der Technologie selbst, im Vordergrund. Zu den BIM-Technologien zählen alle Programme, deren Arbeitsprozesse und Daten in ein Bauwerksinformationsmodell integriert werden können und dadurch zur Unterstützung der BIM bezogenen Arbeitsweise der integrierten Planung dienen. [25] Die Lehre der Technologie erfolgt meist in Übungseinheiten, in Form von praktischen Aufgaben.

Im Laufe des Studiums sollen Studierende des Bauingenieurwesens ein fundamentales Verständnis entwickeln und Fähigkeiten erlangen, wie digitale Bauwerksmodelle erstellt und genutzt werden können. Beim eigenständigen Generieren und Modellieren ganzheitlicher, digitaler Gebäudemodelle und durch das hinterlegen technischer Bauwerksinformationen entwickeln die Studierenden die Fähigkeit digitale Modelle zu verstehen, die Zusammenhänge von virtuellen Informationen zu begreifen und den gesamten Konstruktions- und Planungsprozess nachzuvollziehen. [119] Die laufende Betreuung der Daten sowie die Fähigkeit Plausibilitätskontrollen in einer Software zu vollziehen stellen wichtige Bestandteile in der Lehre dar. [5] Anschließend wird der Umgang eines solchen vollständigen Modells und die Nutzung der hinterlegten Daten gelehrt indem beispielsweise auf dessen Grundlage eine Mengenermittlung durchgeführt wird, die wiederum Bestandteil der Ausschreibung ist. Ebenfalls Gegenstand des Unterrichts soll die Erstellung von Bauwerksanalysen, -simulationen und -prognosen mithilfe adäquater Softwareprogramme und unter

der Verwendung des Bauwerksmodells sein. Ziel ist es, dass Studierende eigenständig ein Modell bedienen und modifizieren können, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. [6]

Am Ende der Ausbildung sollen Absolventen die Fähigkeiten besitzen ein digitales Gebäudemodell erstellen, modifizieren, bedienen, steuern, nutzen und prüfen zu können. [82] In diesem Zusammenhang lernen die Studierenden die Funktionen, Möglichkeiten und Einschränkungen von BIM-Werkzeugen. [6]

Obwohl derzeit zahlreiche verschiedene BIM-Programme in der Baubranche verwendet werden und nicht alle Programme an den Bildungsinstitutionen gelehrt werden können, sind Experten der Meinung, dass Absolventen in der Lage sind ihr Wissen, welches sie sich während der Studienzeit mit einem speziellen Programm angeeignet haben, auch bei anderen Programmen anzuwenden. [6]

### **Prozesse**

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, ist Building Information Modeling nicht nur die Anwendung einer Software, sondern ein Prozess, der sich über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes erstreckt. Zum Prozess zählt das Erstellen eines digitalen Gebäudemodells, in welchem fortlaufend alle relevanten Gebäudedaten, sowohl geometrische als auch nicht geometrische Informationen, erfasst werden und jederzeit abgerufen werden können. Die gewonnenen Daten werden miteinander verknüpft, sodass eine integrale Arbeitsumgebung geschaffen wird, die eine kollaborative, integrale Zusammenarbeit der Projektbeteiligten ermöglicht. Das Gebäudemodell wird auch in der Phase des Gebäudebetriebs weiterentwickelt und fortlaufend mit Informationen versorgt. [34] Es kann keine eindeutige und klare Trennung zwischen den beiden Aspekten „Technologie“ und „Prozesse“ in der Lehre gemacht werden, weil die Inhalte ineinandergreifen und die Ausbildung in einem Themenbereich das Einbeziehen des jeweils anderen Themenbereichs erfordert.

Bei der Lehre von BIM als Prozess lernen die Studierenden, wie herkömmliche Methoden und Abläufe in der Planung, die oft umständlich durchgeführt werden, durch die Anwendung von BIM rationalisiert werden können und wie computergestützte Simulationen und Analysen zur Reduktion der Kosten und des Zeitaufwands beitragen können. [60] Es ist wesentlich, die Grundlagen und Potentiale der Anwendung von BIM im gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu verdeutlichen, damit die Studierenden die Vorteile dieser Arbeitsweise kennen lernen. [60]

Darüber hinaus ist ein wichtiger Bestandteil der Lehre das Verwalten aller projektrelevanten Informationen und Daten, was ebenfalls zur Optimierung der Arbeitsprozesse beiträgt. Die Studierenden lernen verschiedene Methoden des Informationsaustausches kennen und erfahren dadurch die Bedeutung von interoperablen Daten, die ein grundlegender Bestandteil der erfolgreichen Anwendung von BIM sind. [5] Um Widersprüche und Fehler in zusammengeführten Daten und Informationen zu verhindern, werden sogenannte Clash Detections durchgeführt. [13]

Des Weiteren sollen die Studierenden den Ablauf, die Prinzipien und Strategien von BIM erlernen, wodurch ein besseres Verständnis über den gesamten Bauprozess erlangt wird. [6] Die Ausbildung bezieht sich auf die planerische, bauliche und betriebliche Zusammenarbeit in den verschiedenen Disziplinen, basierend auf offenen Standards und Arbeitsabläufen. [5] Das Kennenlernen der verschiedenen Prozesse im Lebenszyklus eines Projekts hilft den Studierenden einen Überblick zu

bekommen zu welchem Zeitpunkt welche Fachkräfte beteiligt sind, wie diese interagieren und welche Aufgaben in die verschiedenen Tätigkeitsbereiche fallen. [37]

#### **Menschliche Aspekte**

Sogenannte übertragbare Qualifikationen, wie Teamwork, Kommunikation und analytisches Denken sind für die erfolgreiche Anwendung von BIM gleichbedeutend mit der Technologie und dem Prozess. [1] Ziel einer universitären Ausbildung ist es, dass die Studierenden Fähigkeiten erwerben sich erfolgreich in eine Gemeinschaft einzugliedern, produktiv in dieser zusammen zu arbeiten und je nach Situation auch Führungsqualitäten zu entwickeln, um das Team zu leiten und fördern. [90] Die Zusammenarbeit während des Studiums in technischen und konstruktiven Aspekten soll vermitteln, wie Zusammenarbeit rationalisiert und die Kommunikation untereinander verbessert werden kann. [37] Es sollen verbale, schriftliche, grafische und elektronische Kommunikationsfähigkeiten geschult werden. [6] Indem zusätzlich Grundzüge der geschäftsführenden Kompetenzen vermittelt werden, sollen Absolventen Führungsqualitäten, Organisationsmanagement und strategische Planungsfähigkeiten entwickeln. [5] Zur Verbesserung der persönlichen Kompetenzen zählen aber auch das nötige Selbstbewusstsein und die Fähigkeit des kritischen Denkens.

Bereits in der Ausbildung ist es wichtig ein fächerübergreifendes Verständnis in den verschiedenen Bereichen, wie Architektur, Bauweise, Konstruktion, Mechanik und Material aufzubauen. [120] Das Verständnis der Absolventen für die einzelnen Rollen der Projektbeteiligten und für die Zusammenhänge der Disziplinen untereinander sowie das Erkennen des Einflusses, den ihre Projektentscheidungen auf das Objekt haben, sind wesentliche Aspekte. [90] Fächerübergreifender Unterricht hat zusätzlich den Vorteil, dass Studierende die Bereitschaft entwickeln, ein Problem ganzheitlich zu betrachten, dieses zu beschreiben und anschließend in der Lage sind leichter eine Lösung zu finden, indem sie ihr Wissen aus verschiedenen Fachbereichen anwenden und unterschiedliche Aspekte und Blickwinkel in Betracht ziehen. Die Fähigkeit eigenständig Problemstellungen zu lösen ist enorm wichtig für die spätere berufliche Laufbahn. [55]

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Ziele, die bei der BIM-spezifische Ausbildung forciert werden können, sind äußerst umfangreich und teilweise idealistisch. Da es derzeit noch keine anerkannten, einheitlichen Standards für die Lehre von BIM gibt, liegt es in der Hand jeder Ausbildungsstätte, individuelle Schwerpunkte und Ziele ihrer Ausbildung zu definieren. [77]

Die ständige Weiterentwicklung der Technologie birgt die Gefahr, dass die Kenntnisse über praktische Anwendungen einer Software, welche in der Ausbildung erlernt werden, im Laufe der Zeit veralten. Deshalb ist es wichtig, den Studierenden auch unabhängig von Programmen selbständiges Lernen beizubringen und kritisches Denken zu lehren, was ihnen hilft zukünftige Herausforderungen eigenständig zu lösen. [60]

Ob im Bauingenieurstudium neben den persönlichen und sozialen Fähigkeiten lediglich die softwaretechnischen BIM-Fähigkeiten im Vordergrund stehen sollen, nur das Wissen über BIM-Konzepte und Prozesse gelehrt werden soll oder beide Aspekte im Lehrplan zu berücksichtigen sind, ist ein kontroverses Thema. Denn durch die Vielzahl an Programmen und deren rasche Entwicklung sind die softwarespezifischen Fähigkeiten der Studierenden begrenzt und

möglicherweise nur temporär. [1] Dennoch sind Experten der Meinung, dass eine zielführende Ausbildung sowohl BIM als Arbeitsvorgang als auch BIM als Instrument beinhalten soll. Projektbezogenes Lernen, praxisnahe Tätigkeiten und das Zusammenarbeiten mit Experten gelten als effektivste Methode des Lehrens von BIM. [77] Aus pädagogischer Sicht ist die erfolgreichste und effektivste Lernmethode eine Kombination aus klassischen Vorträgen, praktischen Übungseinheiten, kooperativem und problembasiertem Lernen in Gruppenarbeiten sowie Demonstrationen anhand von Videos. [2]

Durch eine ausgewogene theoretische und praktische Ausbildung in den drei Kerngebieten Technologie, Prozess und Mensch, soll den Absolventen die Möglichkeit geboten werden in ihrem späteren Berufsleben herausfordernde Aufgaben durch die Anwendung von BIM zu bewältigen. [120] Zusätzlich ist es wichtig die Studierenden zu motivieren aktiv und interessiert BIM zu lernen und ihre Fähigkeiten in diesem Bereich auszubauen, indem es globale oder nationale Zertifikate gibt mit denen das Maß an BIM-Fähigkeiten gemessen werden kann. Ein einheitliches Konzept, um BIM Kompetenzen zu gliedern und zu erfassen, würde den Lernenden helfen, sich individuelle BIM-Lernziele zu stecken und die eigene Ausbildung zu strukturieren. [94]

### **4.2 Herausforderungen bei der Integration von BIM in den Lehrplan**

Um die steigende Nachfrage an Fachkräften mit ausreichend BIM-Kompetenzen in der Baubranche zu decken, ist es die Aufgabe von Bildungsinstitutionen, wie Universitäten und Fachhochschulen, BIM in ihren Lehrplänen zu implementieren. Die Situation der Lehre von BIM und deren Aufnahme in den Lehrplan ist derzeit weltweit an den verschiedenen Ausbildungsstätten auf unterschiedlichen Levels. [5] Während Universitäten, wie beispielsweise die Bauhaus-Universität Weimar, BIM bereits im Rahmen einer Lehrveranstaltung in den Lehrplan des Bauingenieurstudiums aufgenommen haben, sind andere Universitäten erst mitten im Implementierungsprozess. [41] Obwohl die Integration von BIM in die Lehre viele Chancen birgt, werden die Bildungseinrichtungen dennoch mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert, die nachfolgend erläutert werden. [94]

#### **Die Herausforderung das bestehende Curriculum zu ändern**

Eine der herausforderndsten Aufgaben, die es zu bewältigen gilt, ist die Eingliederung eines neuen, umfangreichen Themengebiets in ein bereits bestehendes Curriculum. Es müssen Lehrinhalte überarbeitet werden und das neue Themengebiet nahtlos in die Struktur der Module eingebettet werden. Die mangelnde Bereitschaft herkömmliche Ausbildungsstrukturen, die sich über längere Zeit bewährt haben und mit den internationalen Akkreditierungsanforderungen übereinstimmen, zu ändern und neue Lehrstrategien und -methoden zu entwickeln, präsentiert sich als große Hürde. [77] Es gilt das Bewusstsein bei den vorhandenen Lehrkräften zu stärken, die Relevanz von BIM in der universitären Ausbildung aufzuzeigen und die Herausforderung gemeinsam zu bewältigen. Damit die Implementierung von BIM in den Lehrplan gelingen kann, müssen die Zuständigkeitsbereiche und Verantwortungsbereiche der Auszubildenden klar definiert und aufgeteilt sein und alle Mitarbeiter müssen kooperativ an dem gemeinsamen Ziel arbeiten. [67]

Wie im Abschnitt 4.1 dargelegt wurde, ist für die Lehre von BIM ein fächerübergreifender Unterricht zweckmäßig. Die Umstellung des derzeit isolierten Unterrichts zu interdisziplinären Kursen erfordert eine gute Abstimmung der diversen Fachbereiche untereinander, wobei das Problem hierbei ist, dass oftmals keines der beteiligten Institute die Initiative ergreift, fächerübergreifende Kurse zu erstellen und entwickeln. [65]

### **Mangel an Lehrressourcen und qualifiziertem Fachpersonal**

Neben der Problematik des Zuständigkeitsbereichs, fehlen die Ressourcen, um das Curriculum zu ändern. Erfahrungsgemäß ist eine Überarbeitung des Lehrplans ausgesprochen zeitaufwendig und kostenintensiv. [11] Es erfordert Zeit die erforderlichen Ressourcen und Lehrmaterialien zu erstellen. Neben mangelnder praktischer Erfahrung und unzureichendem Fachwissen fehlt oft auch die Unterstützung von Kollegen und administrativen Mitarbeitern. Um den Mangel an passenden Ausbildungsressourcen zu umgehen, ist die Zusammenarbeit zwischen Universität und Bauwirtschaft äußerst wichtig. Beispielsweise ist es für Universitäten sehr hilfreich, wenn Modelle aus der Bauwirtschaft für Unterrichtszwecke zur Verfügung gestellt werden. [82] Um das Problem, ein neues Curriculum auszuarbeiten, temporär zu umgehen, könnten Lehrinhalte in bestehende Kurse integriert werden, sodass in jedem Fachbereich die jeweils relevanten Aspekte behandelt werden. [65]

BIM zu lehren erfordert ein fundiertes Grundwissen, praktische Erfahrung und einen enormen Wissensstand im Umgang mit der Technologie. [120] Derzeit herrscht ein Mangel an solchen qualifizierten Fachkräften, welche die Ausbildung an Universitäten und Hochschulen übernehmen können. [11] Das liegt auch zum Teil an der raschen Entwicklung und den ständigen Fortschritten in der BIM-Technologie. Mit den fortlaufenden Veränderungen mitzuhalten und immer auf dem neuesten Stand der Technik zu sein ist vor allem für Wissenschaftler, die nicht aktiv in einer Baufirma tätig sind, mit einem hohen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. [65]

### **Schritthalten mit den Entwicklungen in der Bauwirtschaft**

Eine besondere Herausforderung für Universitäten sind ständige Aktualisierungen und Weiterentwicklungen der BIM-spezifischen Arbeitsweise und der Softwareprogramme. [77] Werden praktizierende Experten aus der Bauwirtschaft in die Lehre miteinbezogen, profitieren alle drei Parteien, die akademische Institution, die Studierenden und die Wirtschaft. Professoren bleiben auf dem neuesten Stand, sie erhalten Unterstützung beim Unterricht und das Fehlen der praktischen Erfahrungen wird durch Einbeziehen von Experten gedeckt, sodass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen theoretischem Wissen und praktischen Erfahrungen entsteht. Die Studierenden profitieren von einer praxisbezogenen, zeitgemäßen Ausbildung und die Fachkräfte in der Bauwirtschaft können die Ausbildung der Absolventen beeinflussen und grundlegendes Wissen vermitteln, welches für Tätigkeiten in der Baubranche erforderlich ist. [72]

### **Fehlen einer Strategie für die Lehre**

Bei der Entwicklung eines neuen Curriculums ist es eine Herausforderung die richtige Balance zwischen Theorie und Praxis, Technologie und Prozess und traditionellen sowie fortschrittlichen Lehrmethoden zu finden. [82] Um den Implementierungsprozess von BIM in die Lehre zu erleichtern, wären einheitliche und gemeinsame Strategien für die Lehre von BIM, bei denen Professoren und die

Baubranche eng zusammenarbeiten, hilfreich. Diese durch nationale Institutionen geförderten Strategien sollen Leitlinien für die Entwicklung eines BIM-Curriculums und die erfolgreiche Umsetzung in der Lehre darstellen. Manchen Institutionen fehlt eine aktive Plattform für die Zusammenarbeit oder ein dezidiertes Informationssystem, um die Ausbildung im Bereich BIM zu unterstützen. Online BIM-Lernplattformen mit einem gut verwalteten BIM-Server sind ein hilfreiches Werkzeug für das Lernen und Lehren von BIM. [94]

Nicht als Barriere zu sehen ist das Interesse der Studierenden und Universitätsmitarbeiter. Die Bereitschaft den Umgang mit BIM zu lernen und die Prozesse kennenzulernen ist beachtlich. Auch die Lehrenden erkennen die Relevanz und Notwendigkeit BIM in die Ausbildung aufzunehmen. [11]

Die Situation im Vereinigten Königreich zeigt deutlich, welchen entscheidenden Einfluss die Regierung auf die Ausbildungsstätten ausüben kann. Durch eine Anordnung der Regierung des Vereinigten Königreichs wurde veranlasst, dass BIM bei der Ausführung von öffentlichen Bauprojekten anzuwenden ist. In weiterer Folge war es im Interesse der Universitäten, BIM in ihr Ausbildungsprogramm aufzunehmen. Basierend auf diesen Erkenntnissen hat sich herausgestellt, dass die Zusammenarbeit der drei Interessensvertretungen Berufsverbände, Hochschulen und der Regierung eine Unterstützung darstellt, um die erläuterten Herausforderungen, BIM erfolgreich in der Lehre zu integrieren, erfolgreich bewältigen zu können. [15, 67] Es ist die Aufgabe von Berufsverbänden die BIM-Experten zu vertreten und attraktive Jobpositionen in der Bauwirtschaft für talentierte und qualifizierte Fachkräfte zu schaffen. Sie müssen dafür sorgen, dass BIM als Berufswahl zur Verfügung steht. Die Berufsverbände akkreditieren die von den Universitäten angebotenen Studiengänge und kontrollieren diese wiederum, um sicherzustellen, dass die von ihnen veröffentlichten Standards erfüllt werden. Es soll ein dynamisches Zusammenspiel zwischen Hochschulen und Berufsverbänden bestehen, die wiederum über die Anforderungen der Wirtschaft informiert werden. [24] Offene Stellenausschreibungen zeigen, dass in Österreich die Nachfrage an BIM-Experten in Bauunternehmen gegeben ist. Beispielsweise werden Fachkräfte für das Modellieren von BIM-Modellen, für das Koordinieren und Managen der Informationen gesucht, oder Experten, welche die Einführung von BIM im Unternehmen unterstützen.

### **4.3 Integrationsstrategien von BIM**

Viele Erfahrungsberichte haben gezeigt, dass es nicht erforderlich ist, komplett neue Studiengänge für BIM zu entwickeln. Die Lehrpläne aktueller Studiengänge in den Fachbereichen Baumanagement und Baubetrieb können überarbeitet werden, um die neue Technologie in das bestehende Curriculum aufzunehmen. In diesem Kapitel werden verschiedene Ansätze vorgestellt und beschrieben, wie Building Information Modeling im Allgemeinen in die universitäre Lehre eingegliedert werden kann. Das Vorstellen dieser Ansätze sowie das Aufzeigen der Vor- und Nachteile der jeweiligen Strategie sind für die Ausarbeitung der Handlungsempfehlung, BIM in die Lehre der TU Wien einzugliedern, in Kapitel 6, bedeutend.

Es gibt verschiedene Strategien BIM in den Lehrplan aufzunehmen, wobei die Art und Weise des Unterrichts von kulturellen, ökonomischen und akademischen Aspekten abhängig ist. [2] Bei der Literaturrecherche in Kapitel 3 haben sich vier allgemeine Implementierungsstrategien, wie BIM in den

Lehrplan integriert werden kann, herauskristallisiert. Diese vier Ansätze, die mit den Ansichten von Lee und Hollar [57] übereinstimmen, werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

### 4.3.1 Unabhängige BIM-Kurse

Ein möglicher Ansatz der Implementierung von BIM in den Lehrplan beschreibt das Schaffen und Entwickeln komplett unabhängiger Kurse, deren Lehrinhalt ausschließlich Building Information Modeling umfasst. In diesen unabhängigen Kursen werden hauptsächlich das Konzept von BIM und der Umgang mit BIM-basierten Softwareprogrammen, also das Modellieren von Objekten, auf einem einfachen Niveau vorgestellt. [20] Die Studierenden entwickeln ein besseres Entwurfs- und Konstruktionsverständnis und lernen die Aufgaben des Architekten in den Bereichen des Entwurfs und der Konstruktion besser kennen, wodurch das Verständnis für diese Berufsgruppe erhöht wird. Bei den praktischen Übungen mit Softwareprogrammen erfahren die Studierenden ebenfalls die Einschränkungen beim Modellieren mit BIM-spezifischen Softwareprogrammen. [57]

Bei dieser Implementierungsmethode ist es wichtig, neben unabhängigen BIM-Kursen weiterführende Lehrveranstaltungen in diesem Themengebiet anzubieten, um das langfristige Lernen der Studierenden zu fördern. Wenn ausschließlich unabhängige BIM-Kurse angeboten werden, haben die Studierenden nicht die Möglichkeit, die Softwarefähigkeiten und Kenntnisse über BIM, die sie in einem Kurs erlernt haben, wieder anzuwenden und dadurch zu festigen. [1]

Der Nachteil dieser Implementierungsmethode ist, dass die existierenden Lehrpläne an Universitäten bereits sehr umfangreich sind und es kaum Spielraum gibt, neue Kurse in das Curriculum einzufügen. Aus Sicht der Studierenden ist darauf zu achten, dass durch zusätzliche eigenständige BIM-Kurse der Lehrplan nicht zu umfangreich wird und eine Überlastung verhindert wird. Um dieses Problem zu umgehen, kann BIM in bestehende Lehrveranstaltungen integriert werden. Diese Integrationsmethode wird nachfolgend erläutert. [57]

### 4.3.2 Integrierte BIM-Kurse

Bei dieser Implementierungsstrategie wird BIM in bereits bestehende Kurse integriert. Dabei werden jene BIM-Aspekte, die mit dem jeweiligen Fachbereich in Zusammenhang stehen, in den Kurs aufgenommen. Ziel ist es, fachspezifische Lehrinhalte durch relevante BIM-Aspekte zu ergänzen. Beispielsweise kann in Übungskursen mit den Lehrinhalten der Terminplanung oder Kostenrechnung die herkömmliche Arbeitsweise durch die BIM-spezifische Arbeitsweise ergänzt werden, indem Kostenschätzung und Terminpläne unter Zuhilfenahme einer BIM-spezifischen Software erstellt werden. Ein weiteres Beispiel in diesem Zusammenhang ist das Ergänzen der Ausbildung von konstruktiven Fächern wie Stahlbau, Betonbau oder Holzbau durch die Anwendung von Berechnungsprogrammen. Im jeweiligen Fachbereich kann parallel eine händisch durchgeführte Berechnung mit einem Softwareprogramm stattfinden. So lernen die Studierenden softwaregestützte Tragwerksberechnungen, die bereits einen Teil von BIM darstellen.

Die Ergänzung herkömmlicher Lehrinhalte durch BIM hat positive Auswirkungen auf die Bereitschaft der Studierenden BIM zu nutzen, weil sie bei einer bestimmten Aufgabenstellung die direkte Anwendung von BIM kennen lernen und auch die Chancen der neuen Technologie erfahren. Sie

können direkte Vergleiche zwischen konventionellen Arbeitsmethoden und der BIM-basierten Arbeitsweise schaffen. [57]

Dieser integrierte Ansatz entspricht zudem den Anforderungen der Bauwirtschaft, weil Experten, die ihr Wissen in praktischen Situationen anwenden können, gesucht sind. Indem BIM-spezifische Lehrinhalte in eine Reihe von Kursen eingegliedert werden, können neue Entwicklungen der Technologie und neue Methoden der Projektabwicklung direkt in den betreffenden Lehrveranstaltungen vorgestellt und vermittelt werden. Die Studierenden lernen die direkte Anwendung von BIM auf eine spezifische Aufgabe in einem Themengebiet. [120]

Die Herausforderung BIM in bestehende Kurse zu integrieren liegt darin, neue Lehrinhalte in Kurse, die bereits eine große Menge an Informationen beinhalten, zu integrieren. Es besteht die Gefahr, dass die Lehrinhalte zu umfangreich werden und zu wenig Zeit vorhanden ist, um auf die einzelnen Themengebiete einzugehen. Vor allem, wenn BIM in bestehende Kurse integriert wird, ohne dass zuvor ein unabhängiger Grundlagenkurs über BIM und dessen Basiswerkzeuge angeboten wird, sind die Kapazitäten des integrierten Kurses zu gering, um zusätzlich grundlegende Lehrinhalte über BIM aufzuarbeiten. Ein integrierter BIM-Kurs ist folglich nur dann sinnvoll, wenn zuvor ein unabhängiger Grundkurs angeboten wird, in welchem die Studierenden auf die fortgeschrittenen Konzepte von BIM vorbereitet werden. [1]

### **4.3.3 Fächerübergreifende Kurse zwischen verschiedenen Studiengängen**

Bei fächerübergreifendem Unterricht handelt es sich um Kurse, in denen Studierende aus verschiedenen Studienrichtungen, wie beispielsweise Architektur und Bauingenieurwesen, zusammenarbeiten und gemeinsam Aufgaben oder Projekte ausarbeiten. Dabei erhalten diese Aufgaben, die speziell auf die eigene Disziplin abgestimmt sind. Bei der Ausarbeitung eines Projekts gibt es auch Aufgaben, die Studierende des Fachbereichs Architektur und Bauingenieurwesen in Zusammenarbeit lösen müssen, beispielsweise die Entwicklung eines Entwurfs, in welchem aus architektonischer Sicht gestalterische Aspekte und aus der Sicht des Ingenieurs tragwerkspezifische Komponenten zu berücksichtigen sind. Anschließend modellieren und visualisieren Architekturstudierende dreidimensionale Bauwerksmodelle mithilfe einer Software. Die Aufgabe der Bauingenieurstudierenden ist in weiterer Folge beispielsweise das Berechnen der Tragstruktur sowie das Erstellen von Energieausweisen, Kostenschätzungen oder Terminplänen. Nach den ersten Simulationen arbeiten Architektur- und Bauingenieurstudierende wieder gemeinsam an Vorschlägen, wie das geplante Gebäude beispielsweise hinsichtlich Ressourcen, Energieeffizienz oder Kosten optimiert und aufgewertet werden kann.

Von Unterrichtsfächern, die für Studierende aus verschiedenen Fachrichtungen angeboten werden, profitieren die Studierenden besonders, weil die Arbeitsweise in den fächerübergreifenden Kursen jener Arbeitsweise entspricht, die auch später in der Wirtschaft praktiziert wird. Durch die Zusammenarbeit mit Beteiligten aus verschiedenen Disziplinen wird ein Verständnis für die verschiedenen Rollen und Verantwortungsbereiche in den einzelnen Fachbereichen entwickelt. Bei der gemeinschaftlichen Arbeit an einem Projekt lernen die Studierenden den Informationsaustausch

zwischen verschiedenen Softwareprogrammen und entwickeln Fähigkeiten für eine effektive Zusammenarbeit. [57]

Die Entwicklung eines solchen fächerübergreifenden Kurses für Studierende aus diversen Disziplinen ist eine herausfordernde und aufwendige Aufgabe, da Institute von verschiedenen Studienrichtungen bei der Ausarbeitung der Lernziele und Lehrinhalte zusammenarbeiten müssen und in den überfüllten Lehrplänen einen Platz für die neue Lehrveranstaltung gefunden werden muss.

### **4.3.4 Zentrales BIM-Projekt**

Die Ausarbeitung eines Projekts, in welchem die BIM-spezifische Arbeitsweise im Vordergrund steht, bietet eine weitere Option, BIM in die universitäre Ausbildung zu integrieren. Bei Projekt-, Bachelor-, oder Diplomarbeiten kann der Schwerpunkt der Arbeit im Bereich BIM gesetzt werden. Solche Projekte bieten besonders BIM-interessierten Studierenden die Möglichkeit, ihr bisher gelerntes Wissen im Bereich BIM an einem gesamtheitlichen Projekt anzuwenden und die eigenen Fähigkeiten und Kenntnisse weiter auszubauen und zu vertiefen. Grundlage solcher Projekte sind oftmals Problemstellungen aus der Praxis, die an der Universität wissenschaftlich aufgearbeitet werden. [19, 57]

Für die universitäre Lehre eignet sich besonders eine Kombination der vier Ansätze. Zu Beginn der Ausbildung soll ein unabhängiger BIM-Kurs angeboten werden, in welchem das Konzept von BIM vorgestellt wird und die grundlegenden Werkzeuge für das Modellieren mit Softwareprogrammen gelehrt wird. In weiterer Folge ist es wichtig, dass die Studierenden lernen, wie BIM und verschiedene Softwarewerkzeuge in den jeweiligen Fachbereichen angewendet werden können, um beispielsweise bestimmte Aspekte des Baubetriebs zu verbessern. Solche Zusammenhänge können am besten durch integrierte Kurse vermittelt werden. Am Ende der Ausbildung sollen alle Komponenten, die bei der BIM-spezifischen Ausbildung gelernt wurden, in einem umfangreichen Abschlussprojekt angewendet werden.

### **4.3.5 Konzept zur Eingliederung von BIM**

Auf Grundlage der Recherche und Ausarbeitung in Kapitel 3 wurden wesentliche Maßnahmen identifiziert, die bei der Eingliederung von BIM in die universitäre Lehre zu überlegen sind. In Anlehnung an die Erkenntnisse von Adamu und Thorpe an der Loughborough Universität [2] wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit ein Konzept entwickelt. Dieses enthält fünf Kriterien, die bei einem Implementierungsvorgang zu berücksichtigen sind:

1. Entwickeln einer Implementierungsstrategie

Zu Beginn des Implementierungsprozesses ist es erforderlich eine Eingliederungsstrategie zu entwickeln. Dabei wird ein Plan, der die phasenweise Einführung von BIM in den Lehrplan über eine längere Zeitdauer festlegt und beschreibt, ausgearbeitet. Diese Zeitspanne wird in einzelne Schritte unterteilt, wobei Veränderungen mit einer hohen Priorität zuerst umgesetzt werden und sekundäre Modifikationen erst gegen Ende des Implementierungsvorganges in Angriff genommen werden. Die Abgrenzung zwischen geringer und hoher Priorität wird je nach Schwerpunkt von der Bildungseinrichtung festgelegt. In dieser ersten Stufe ist

festzulegen, ob und in welchem Umfang neue, unabhängige BIM-spezifische Kurse entwickelt werden und welche bestehenden Kurse mit einer hohen Priorität und welche mit einer niedrigeren Priorität adaptiert werden müssen. Mögliche Strategien, BIM zu integrieren, wurden bereits in Kapitel 4.3 erläutert.

### 2. Definieren der Lernziele

In einem weiteren Schritt gilt es, die beabsichtigten Lernziele zu identifizieren und zu fixieren. Die Lernergebnisse sind mit den Anforderungen und Erwartungen der regionalen Bauwirtschaft abzustimmen, weil Absolventen schließlich das Anforderungsprofil der Bauunternehmen erfüllen sollten. Sind nationale BIM-Standards vorhanden, ist es erforderlich, die Lernziele nach diesen nationalen Standards auszurichten.

### 3. Ausbilden des Lehrpersonals

Um das Wissen und die Fähigkeiten der Professoren und Institutsmitarbeiter in Bezug auf BIM zu stärken und auszubauen, ist es wichtig, Weiterbildungskurse anzubieten. Im Rahmen von Vorträgen und Workshops wird dem Lehrpersonal gezeigt, wie BIM im jeweils eigenen Fachbereich integriert und angewendet werden kann und zur Unterstützung bzw. Ergänzung für bestehende Lehrinhalte Verwendung finden kann. Es gilt primär jene Universitätsmitarbeiter auszubilden, die BIM laut dem Implementierungsplan in ihre Kurse aufnehmen werden.

### 4. Fixieren der Lehrmethode

Im nächsten Schritt ist zu fixieren, welche Lehr- und Beurteilungsmethoden geeignet sind, um die definierten Lernziele bestmöglich zu erreichen. Die drei Komponenten Lernergebnis, Lehrmöglichkeiten und Bewertungsmethoden stehen in enger Relation zueinander und sind bestmöglich aufeinander abzustimmen. Für das Erreichen der Lernziele ist die Zusammenarbeit von Universitäten mit der regionalen Bauwirtschaft essentiell, da Bauunternehmen durch Gastvorträge und realitätsbezogene Fallbeispiele einen Praxisbezug herstellen können und einen wichtigen Beitrag zur Lehre von BIM leisten.

### 5. Organisieren von Lehr- und Lernressourcen

In direktem Zusammenhang mit dem vorherigen vierten Punkt steht das Beschaffen zweckmäßiger Lehrressourcen und Bestimmen geeigneter Technologien. Die Lehrpersonen müssen zunächst BIM-Technologien, die auf dem Markt erhältlich sind, identifizieren, in weiterer Folge bewerten und zuletzt die für den Unterricht passenden Softwareprogramme auswählen. Für die Lehre des Modellierens, des Austauschens von Daten und für das Durchführen von Simulationen ist die Wahl der BIM-Technologie ausschlaggebend. Jedoch ist es wichtig, dass die Studierenden nicht mit einer Vielzahl an verschiedenen BIM-Technologien überfordert werden, sondern nur spezifische Anwendungen lernen. Zudem gilt es, Lehrmaterialien zu beschaffen, die für die BIM-spezifische Ausbildung verwendet werden. Dazu zählen schriftliche Lehrmittel, wie Berichte, Bücher, Richtlinien etc. oder Bauwerksinformationsmodelle, die für Analysen und Simulationen herangezogen werden.

Fortschrittliche Methoden, wie beispielsweise Video-Tutorials, bieten eine zusätzliche Gelegenheit Lehrinhalte zu vermitteln.

Die beschriebene Vorgehensweise kann als Unterstützung von Institutionen, die vor der herausfordernden Aufgabe stehen, Building Information Modeling in ihren Lehrplan zu integrieren, herangezogen werden. Die Reihenfolge des beschriebenen Implementierungsvorgangs ist optional, da die Abfolge der einzelnen Punkte autonom gewählt werden kann. Es kann keine allgemein gültige Implementierungsstrategie entwickelt werden, da die Einbettung von BIM in einen Lehrplan von den individuellen Schwerpunkten einer Universität geprägt wird, wobei kulturelle Unterschiede, administrative Aspekte, der jeweilige Lehrplan, die regionale Bauwirtschaft oder die Regierung einen entscheidenden Einfluss haben. [2]

Nachdem alle Schritte der Einführungsstrategie erfolgreich umgesetzt und die geplanten Maßnahmen realisiert wurden, sollte der Implementierungsprozess nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Weil BIM eine relativ neue Arbeitsweise ist und fortlaufend Entwicklungsprozesse stattfinden, gibt es ständig Veränderungen und Weiterentwicklungen bei den Methoden und der Technologie. Diese Modifikationen müssen in die Ausbildung an Universitäten einfließen, damit Studierende stets auf dem neuesten Stand der Technik ausgebildet werden. Zudem ist bei der Einführung eines neuen Themengebiets in den Lehrplan wichtig, die Ausbildungsstrategien und Methoden der Lehre fortlaufend zu analysieren und Erkenntnisse und Verbesserungsmöglichkeiten aus den aktuellen Kursen für zukünftige Lehrveranstaltungen zu schöpfen.

## **5 HANDLUNGSEMPFEHLUNG FÜR ÖSTERREICH**

In diesem fünften Kapitel wird ein Vorschlag präsentiert und erläutert, in welcher Form und bis zu welchem Qualifikationsniveau BIM in den Bildungseinrichtungen in Österreich gelehrt werden soll. Ziel ist es, klar zu definieren, welche Bildungsaufgaben Höheren Technischen Lehranstalten, Fachhochschulen und Universitäten mit dem Schwerpunkt Bautechnik im Bereich BIM haben und wo die Abgrenzung der Zuständigkeitsbereiche liegen. Es wird eine Empfehlung vorgestellt, wo die inhaltlichen Schwerpunkte in den drei genannten Bildungseinrichtungen gesetzt werden können.

Dieses Kapitel ist in die drei Unterkapitel Höhere Technische Lehranstalten, Fachhochschulen und Universitäten gegliedert. Zu Beginn wird der allgemeine Ausbildungsschwerpunkt der jeweiligen Bildungsinstitution beschrieben. Anschließend wird erläutert, wie die BIM-spezifischen Lehrinhalte und Ausbildungsziele an den verschiedenen Bildungseinrichtungen aufgebaut werden sollten.

### **5.1 Höhere Technische Lehranstalten**

Die Schüler einer HTL werden von Beginn der Ausbildung an mit theoretischen Inhalten und praktischen Anwendungsaufgaben der verschiedenen Themengebiete des Bauwesens konfrontiert, da viele der Schulen an Versuchsanstalten, die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsaufträge aus der Wirtschaft erhalten und durchführen, angeschlossen sind. Die neu gewonnenen Erkenntnisse in der Versuchsanstalt werden direkt in den Unterricht integriert, wodurch die Schüler eine praxisnahe und zeitgemäße Ausbildung erhalten.

Die Ausbildung an einer Höheren Technischen Lehranstalt hat zwei Kernziele. Zum einen eine außerordentliche Allgemein- und Persönlichkeitsbildung, als Basis für weiterführende Ausbildungen an Universitäten und Hochschulen. Zum anderen der Erwerb fachspezifischer Kenntnisse und Fähigkeiten in theoretischer und praktischer Form, die für das Ausüben eines Berufes im Bereich Bauwesen erforderlich sind. Die schulische Ausbildung wird durch Pflichtpraktika begleitet. Neben den fachlichen Qualifikationen werden auch die persönlichen, sozialen Kompetenzen gefördert. [16]

Absolventen einer Höheren Lehranstalt für Bautechnik werden zu qualifizierten Fachleuten ausgebildet, die nach positivem Abschluss direkt in das Berufsleben einsteigen können und in der Lage sind eigenständig diversen ingenieurmäßigen Tätigkeiten in der industriellen oder gewerblichen Wirtschaft nachzugehen. Zumal Building Information Modeling in der österreichischen Bauwirtschaft immer mehr an Bedeutung gewinnt und sich die Anwendung von BIM stetig verbreitet, ist es erstrebenswert, dass Absolventen einer HTL, die nach dem Abschluss direkt in das Baugewerbe einsteigen, einführende BIM-Kenntnisse und Fähigkeiten besitzen.

Die beiden Schulfächer „Baukonstruktion“ und „Darstellung und Geometrie“ in einer Höheren Lehranstalt für Bautechnik bieten die Möglichkeit, neue BIM-Methoden in die Ausbildung zu integrieren. Konventionelle Modellieraufgaben können durch BIM-unterstützende Softwareprogramme erweitert und kombiniert werden. Im Rahmen von kleinen, individuellen Aufgaben sollen die Schüler schrittweise den Umgang mit Softwarewerkzeugen für das Erstellen dreidimensionaler, geometrischer Modelle eines Gebäudes lernen. Ziel ist es, den Schülern beizubringen, wie Geometrien und Bauteile in einem Modell miteinander verknüpft werden können. Beim Arbeiten mit den Modellen und

Durchführen von geometrischen Änderungen erfahren die Schüler die Vorteile von zusammenhängenden Geometrien. Die Schüler lernen, wie geometrische Objekte mit zusätzlichen Informationen ausgestattet werden. Dabei wird einem Bauteil ein Werkstoff zugeordnet und diesem Werkstoff wiederum werden Eigenschaften zugeordnet. Ein weiterer Aspekt, der im Unterricht einer HTL aufgegriffen werden sollte, ist die softwarebezogene Ausgabe von Projektdaten. Dabei werden Listen von spezifischen Bauteilen, wie Fenster, Wände oder Bodenflächen, mit den zugehörigen Informationen, wie Material, Bauteilabmessungen oder bauphysikalische Eigenschaften, erstellt und ausgegeben. Als abschließendes Übungsprojekt können Schüler ein eigenes dreidimensionales Bauwerksmodell eines Einfamilienhauses entwerfen und modellieren, indem die einzeln erlernten Basiskomponenten in einem Gesamtprojekt zusammengefügt werden.

Allgemein ist es wichtig, dass in Höheren Lehranstalten der Bautechnik der Begriff „BIM“ in das Bewusstsein der Schüler gerückt wird, dass diese das Bestreben der BIM-spezifischen Arbeitsweise verstehen und die Chancen und Herausforderungen kennen lernen. Die Ausbildung an Höheren Lehranstalten der Bautechnik soll die Grundlagen, welche für die Anwendung von BIM erforderlich sind, schaffen. Ein dreidimensionales Gebäudemodell mit verknüpften Geometrien und Werkstoffeigenschaften ist die Basis für eine anschließende BIM-bezogene Arbeitsweise. Die Ausbildungsform besteht hauptsächlich aus praktischen Übungseinheiten, in denen die Schüler das Modellieren mit Softwareprogrammen lernen. Der Lernprozess des softwarebasierten Modellierens kann durch analoge Methoden, Skizzen und axonometrische Ansichten ergänzt werden. Zudem ist es die Aufgabe einer HTL, die Schüler für das Thema „BIM“ zu sensibilisieren. Themen, wie beispielsweise verschiedene Projektmanagementkonzepte von BIM, die Interoperabilität verschiedener Datenformate oder die Kompatibilität von Programmen, sind in der Ausbildung einer HTL sekundär. Der Fokus soll auf dem einfachen dreidimensionalen Modellieren mit computergestützten Werkzeugen liegen.

Das Lehren der Grundlagen von BIM an Höheren Technischen Lehranstalten erfordert keine einschneidenden Veränderungen der Ausbildungsstrategien oder keine Umstrukturierungen des Lehrplans. Es geht darum, herkömmliche Methoden und Aufgaben zu adaptieren und die neue Arbeitsweise in die bestehenden Modellierkurse zu integrieren. Beispielsweise können computerbasierte Aufgabenstellungen dahingehend adaptiert werden, dass anstelle von zweidimensionalen Plänen räumliche Darstellungen gelehrt werden. Die Fähigkeiten dreidimensionale Pläne zu erstellen und den Umgang mit BIM-unterstützenden Softwareprogrammen zu beherrschen bietet den Absolventen einer HTL die Möglichkeit mit gestärktem Selbstvertrauen in Berufe einzusteigen.

## 5.2 Fachhochschulen

In Österreich gibt es Fachhochschulstudiengänge im Bauingenieurwesen seit dem Jahr 1994. Das Ziel der Einführung dieser Hochschulform war eine wissenschaftlich fundierte berufsbildende Ausbildung auf Hochschulniveau. Ähnlich der Universitäten gibt es zwei Ausbildungsarten an Fachhochschulen: Bachelor- und Masterstudiengänge. Nach positivem Abschluss werden akademische Grade verliehen. Im Vergleich zu Studien an Universitäten kann an einer

Fachhochschule kein Doktoratsstudium absolviert werden. Master- oder Diplomstudienabsolventen einer Fachhochschule steht jedoch die Möglichkeit offen ein Doktoratsstudium an einer Universität zu absolvieren.

Neben einer wissenschaftlich fundierten Ausbildung liegt der Fokus von Fachhochschulen verstärkt auf den berufspraktischen Aspekten der jeweiligen Fachrichtung. Die theoretischen Lehrinhalte werden durch praktische Beispiele ergänzt. Durch „praxisnahen“ Unterricht sollen die Studierenden bestmöglich auf die späteren beruflichen Tätigkeiten vorbereitet werden. Der Stellenwert der praxisnahen Ausbildung zeigt sich darin, dass eine Voraussetzung für den positiven Abschluss eines Fachhochschulstudiums das Absolvieren eines verpflichtenden Berufspraktikums ist. Der zeitliche Umfang sowie die inhaltlichen Schwerpunkte des Praktikums werden von der jeweiligen Fachhochschule festgelegt und sind einzuhalten. Ein weiteres Merkmal der Fachhochschulen ist der präzise durchorganisierte und strukturierte Stundenplan. Die Studienpläne und Prüfungstermine sind aufeinander abgestimmt und festgelegt. [92] Ein Schwerpunkt von Fachhochschulstudiengängen ist die „praxisorientierte“ Ausbildung. Dementsprechend sind in Bezug auf BIM die praxisrelevanten Aspekte, wie beispielsweise der Umgang mit Softwareprogrammen, zu fokussieren.

Zu Beginn der BIM-spezifischen Ausbildung ist es wichtig, dass die Studierenden eine Einführung über die Grundlagen von BIM, über gängige praktische Anwendungen und theoretische Methoden, erhalten und über den momentanen Stand der Technik informiert werden. Der Hauptbestandteil der Lehre soll jedoch das Unterrichten von BIM als Planungswerkzeug darstellen. Mithilfe von praktischen Übungseinheiten sollen der Umgang mit der Technologie und verschiedenen Softwareprogrammen gelehrt werden. Dazu zählen zunächst das Modellieren geometrischer Objekte, das Verwenden von verschiedenen Materialien, das Hinterlegen bauwerkspezifischer Informationen und der Import und Export von Daten. Die Studierenden entwickeln Fähigkeiten, die erforderlich sind, um ein Bauwerksmodell zu generieren. Dazu zählt das Erstellen spezifischer Informationen, diese zu verändern, zu löschen und weiter zu verwenden. In einfachen Schritten kann mit vorgefertigten Bauteilen aus einer Programmbibliothek ein digitales, dreidimensionales Gebäudemodell, beispielsweise mit den Programmen Autodesk Revit oder ArchiCAD, generiert werden. Ein wichtiger Aspekt im Umgang mit Programmen, ist die Fähigkeit Plausibilitätskontrollen durchzuführen und die Ergebnisse auf deren Richtigkeit und Nachvollziehbarkeit zu prüfen.

In weiterer Folge verwenden die Studierenden das dreidimensionale Bauwerksmodell und erstellen mithilfe BIM-orientierter Softwaresysteme Bauzeitpläne und simulieren Bauabläufe. Mit BIM-basierten Kalkulationsprogrammen werden modellorientierte Massenermittlungen, die als Grundlage für Kalkulationen und Ausschreibungen dienen, durchgeführt. Das Ziel ist es, die Zusammenhänge zwischen digitalen Bauwerksmodellen und weiterführenden Berechnungsprogrammen, wie beispielsweise Ausschreibungsprogramme, zu zeigen.

Je nach Interesse bietet sich im Rahmen des verpflichtenden Berufspraktikums die Möglichkeit, den Umgang mit BIM-basierten Softwareprogrammen zu optimieren und wertvolle praktische Erfahrungen zu sammeln. Zudem kann der Schwerpunkt in Projekt-, Bachelor- oder Masterarbeiten im Bereich BIM gesetzt werden, um das Wissen in dieser Disziplin zu vertiefen.

Der Schwerpunkt der BIM-spezifischen Ausbildung an Fachhochschulen soll hauptsächlich Programmschulungen umfassen, damit die Studierenden den Umgang mit BIM-bezogenen Softwareprogrammen lernen und ihre Fähigkeiten beim Einstieg ins Berufsleben direkt anwenden können. Die Aufnahme des umfangreichen neuen Themenschwerpunktes Building Information Modeling in die Curricula an Fachhochschulen erfordert ein aufwendiges Umstrukturieren des Lehrplans. Im Idealfall können Professoren in Zusammenarbeit mit Professionisten aus der Bauwirtschaft neue Lehrveranstaltungen mit BIM-spezifischen Inhalten entwickeln, um die Absolventen von Fachhochschulen gut auf spätere berufliche Tätigkeiten vorzubereiten.

### **5.3 Universitäten**

Im Gegensatz zu Fachhochschulen, an denen „praxisbezogene“ Inhalte einen großen Anteil der Lehre einnehmen, liegen die Ausbildungsschwerpunkte an Universitäten auf den weitreichenden theoretischen Kenntnissen eines Fachgebiets. Im Vordergrund steht die tiefgreifende Vermittlung wissenschaftlicher Grundsätze und Theorien.

Eine hohe Relevanz an Universitäten hat die Forschung. Professoren und Universitätsmitarbeiter arbeiten an aktuellen, wissenschaftlichen Forschungsfragen. Die aktuellen Ergebnisse und wissenschaftliche Erkenntnisse werden direkt in die universitäre Lehre integriert. Sowohl Lehrende als auch die Studierenden profitieren vom Wissensaustausch. Durch die Verknüpfung von Forschung und Lehre wird den Studierenden die Einstellung vermittelt, sich fachwissenschaftlich weiterzubilden, das erlangte Wissen zu prüfen, hinterfragen und eigenständig Weiterentwicklung zu betreiben. Es soll der wissenschaftliche, forschende Blickwinkel auf ein Thema im Vordergrund stehen. Im Rahmen von Projekt-, Bachelor- oder Diplomarbeiten nehmen die Studierenden aktiv an der Forschungsarbeit teil und wirken bei der Behandlung aktueller Forschungsfragen mit. Wissenschaftliche Forschungsleistungen erfordern eine methodische und disziplinierte Vorgehensweise. Analysieren und Interpretieren von Forschungsergebnissen schult das kritische und analytische Denken und die Studierenden lernen fundiertes und überzeugendes Argumentieren. [104] Kennzeichnend für Universitäten sind zudem die individuellen Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich Stundenplan, Lehrveranstaltungen und Prüfungsterminen. Indem eigenständig ein Stundenplan und die Prüfungseinteilung zusammengestellt werden, entwickeln die Studierenden Organisationsfähigkeiten und lernen Prioritäten zu setzen und selbständig zu arbeiten. [93]

In Bezug auf die allgemein definierten Lernziele von BIM, die in Kapitel 4.1 ausführlich erläutert wurden, sollten Universitäten zwei primäre Bildungsschwerpunkte setzen. Dazu zählen zum einen die Lehre von BIM als Prozess und zum anderen das Schulen persönlicher Merkmale und Kompetenzen der Studierenden. Um diese Ausbildungsschwerpunkte verwirklichen zu können, lernen die Studierenden die Grundlagen des Modellierens und Generierens von dreidimensionalen Modellen mit spezifischen Softwareprogrammen.

### **BIM als Prozess**

Zu Beginn der BIM-spezifischen Ausbildung an Universitäten steht die Lehre der Grundlagen. Den Studierenden wird das Prinzip von BIM erklärt und die breitgefächerte Anwendung von BIM dargelegt. Sie lernen BIM als Prozess kennen, der sich über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks erstreckt und die Vielzahl verschiedener Bereiche, wie Bauherrentätigkeiten, Planung, Ausführung und das Facility Management, umfasst.

Ein Kernthema der BIM-spezifischen Ausbildung an Universitäten soll das Rationalisieren von Arbeitsabläufen darstellen. Die Studierenden lernen, wie gängige und konventionelle Tätigkeiten der Baubranche, die oftmals händisch und umständlich erledigt werden, durch die Anwendung von BIM rationalisiert werden können. Dabei wird untersucht, wie sich die Anwendung von BIM auf die Arbeitsabläufe in Hinblick auf Arbeitsaufwand, Ressourcenmanagement, Nachhaltigkeit etc. positiv auswirkt. Klassische Beispiele hierfür sind Massenermittlungen oder das Erstellen von Terminplänen. In diesem Zusammenhang wird auch die Relevanz von interoperablen Daten aufgezeigt.

Ein weiterer Bestandteil der universitären Lehre soll das Verwalten und Organisieren der projektspezifischen Informationen und Daten darstellen. Die Studierenden lernen, wie Daten für weitere Simulationen oder Analysen zwischen Programmen ausgetauscht werden. Zu diesem Themenbereich zählt auch das Durchführen von Clash Detections an einem Bauwerksinformationsmodell, um Entwurfsprobleme bereits in der Planungsphase zu identifizieren und frühzeitig zu lösen. Für die Ausarbeitung der Aufgaben wird ein vollständiges, umfangreiches Bauwerksinformationsmodell zur Verfügung gestellt, um die zeitaufwendige Aufgabe des eigenständigen Modellierens zu vermeiden. In einer Einführungsveranstaltung erhalten die Studierenden einen Überblick über die zu verwendende Software und lernen grundlegende Aktionen und Werkzeuge kennen.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der universitären Ausbildung ist die Lehre von BIM-spezifischen Richtlinien und Standards. Die Studierenden lernen das Erstellen und Verwalten von Datenstrukturen unter der Anwendung der betreffenden Normen und entwickeln dadurch ein Verständnis für Richtlinien und deren Anwendung.

Besonders Interessierte können im Rahmen von Projekt-, Diplom- und Masterarbeiten aktuelle, offene wissenschaftliche Forschungsfragen im Bereich Building Information Modeling erarbeiten. Es gilt innovative Ideen zu entwickeln und neue Erkenntnisse zu gewinnen, um den BIM-Prozess zu optimieren und effizienter zu gestalten.

Das Unterrichten von BIM-spezifischen Grundlagen soll für alle Bauingenieurstudierende als Pflichtgegenstand eingeführt werden, da die Relevanz von BIM in der heutigen Bauwirtschaft stetig steigt. Es ist wichtig, dass Absolventen einer Universität mit der generellen Arbeitsweise und dem Konzept BIM vertraut sind.

### **Persönliche Aspekte**

Wie erwähnt sind nicht nur die mit BIM in direktem Zusammenhang stehenden Prozesse relevant, sondern auch die persönlichen Kompetenzen für eine erfolgreiche Anwendung von BIM ausschlaggebend. Diese persönlichen Kompetenzen gilt es an der Universität zu entwickeln und auszubauen.

Die freie Struktur der Universitäten und die Verantwortung der Studierenden, eigenständig Stundenpläne zusammenzustellen und Prüfungstermine zu organisieren, erfordert eine strukturierte und organisierte Arbeitsweise. Dabei lernen sie Verantwortung für das eigene Handeln zu übernehmen. Die Ausbildungsstruktur und Lehrmethoden an Universitäten sind darauf ausgerichtet das selbständige Arbeiten und systemorientiertes Denken zu schulen. Die Studierenden müssen Probleme erkennen, beschreiben und anschließend eine Lösungsstrategie erarbeiten. Dabei entwickeln sie Fähigkeiten des analytischen Denkens und der strategischen Projektorganisation. Für das Lösen von Problemstellungen und beim Ausarbeiten von Projekten ist es oftmals erforderlich das gelernte Wissen aus verschiedenen Fachbereichen anzuwenden und Verknüpfungen herzustellen, was wiederum die Kompetenz des fächerübergreifenden Denkens stärkt. Zudem wird durch die Arbeit in Gruppen die kollaborative Zusammenarbeit untereinander gestärkt. Dabei lernen die Studierenden einerseits sich in ein Team einzugliedern, müssen jedoch auch konstruktive Vorschläge präsentieren und aktiv mitarbeiten. Das Arbeiten in Teams ist für Building Information Modeling ein zentraler Aspekt.

Neben einer verpflichtenden Ausbildung über die Grundlagen von BIM sollten an Universitäten zusätzlich BIM-spezifischen Wahlfächer angeboten werden, um den Studierenden die Möglichkeit zu bieten Ausbildungsschwerpunkte zu setzen und sich je nach Eigeninteresse zu spezialisieren. Beispielsweise können in softwarespezifischen Kursen die Kompetenzen im Bereich des dreidimensionalen Modellierens verstärkt und ausgebaut werden.

Ziel der BIM-spezifischen Ausbildung an Universitäten ist es, dass Absolventen, die in der Bauwirtschaft Fuß fassen, in der Lage sind ihr erworbenes BIM-spezifische Wissen im Unternehmen anzuwenden und durch die Anwendung von BIM herkömmliche Arbeitsmethoden zu optimieren.

Die beschriebenen Lehrinhalte von Building Information Modeling in die bestehenden Ausbildungsstrukturen an Universitäten zu integrieren ist eine herausfordernde Aufgabe, da verschiedene Veränderungen im Lehrplan vorzunehmen sind. Zu Beginn des nächsten Abschnitts wird ein konkretes Konzept erarbeitet und vorgestellt, welche Maßnahmen ergriffen werden können, um den Implementierungsprozess von BIM an Universitäten erfolgreich zu gestalten.

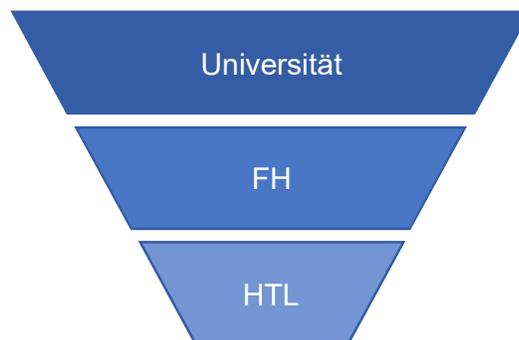
### **5.4 Zwischenresümee**

In diesem Kapitel wurde ein Konzept vorgestellt, das die Zuständigkeitsbereiche von Universitäten, Fachhochschulen und HTLs in Bezug auf die BIM-spezifischen Lehrinhalte abgrenzt. In Höheren Technischen Lehranstalten werden erste Grundlagen, die für die Anwendung von BIM erforderlich sind, vermittelt. Die Schüler lernen den Umgang mit Softwareprogrammen und generieren dreidimensionale Gebäudemodelle mit verknüpften Geometrien und Werkstoffeigenschaften.

An Fachhochschulen und Universitäten ist die Ausbildung im Bereich BIM detaillierter und umfangreicher. Fachhochschulen konzentrieren sich dabei vorwiegend auf praxisbezogene Lehrinhalte, wie den Umgang mit Softwareprogrammen, die bereits in Unternehmen und Planungsbüros angewendet werden. Die Studierenden lernen softwarebasiertes Erstellen und Adaptieren von Bauwerksinformationsmodellen und das anschließende Weiterverwenden der erstellten Modelle für Analysen und Simulationen.

Im Vergleich dazu liegt der Ausbildungsfokus an Universitäten auf der Lehre von BIM entlang der gesamten Prozesskette im Lebenszyklus von Bauwerken. Dabei steht der Umgang mit einer durchgängigen, vernetzten Datenkette im Vordergrund. Während der Ausbildung lernen die Studierenden die Grundlagen des Modellierens und die Anwendung von Softwareprogrammen für das Durchführen von Analysen und Simulationen. Es geht darum eigenständig Konzepte zu entwickeln, um herkömmliche Arbeitsabläufe durch die Anwendung von BIM zu optimieren. Das Lösen dieser herausfordernden Übungsaufgaben erfordert ein ausgeprägtes systematisches sowie analytisches Denken. Die Ausbildung an Universitäten ist äußerst forschungsorientiert. Professoren, Universitätsmitarbeiter und auch die Studierenden beteiligen sich an aktuellen Projekten aus der Wirtschaft und an grundlegenden Forschungsfragen, um neue, wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Ergebnisse fließen direkt in die universitäre Lehre ein und es erfolgt ein konstruktiver Austausch zwischen den Lehrenden und Studierenden, von dem beide Seiten profitieren. Ziel der Ausbildung ist es, den Studierenden eine systematische und methodische Vorgehensweise beim wissenschaftlichen Arbeiten zu vermitteln und kritisches Denken zu fördern.

Wird der Umfang der BIM-spezifischen Ausbildung in den drei Bildungseinrichtungen Höhere Technische Lehranstalten, Fachhochschulen und Universitäten betrachtet und miteinander verglichen ergibt sich eine pyramidenförmige Darstellung der Lernziele (vergleiche Abbildung 7).



**Abbildung 7: Vergleich der Lernziele an HTLs, Fachhochschulen und Universitäten**

## **6 BIM-EMPFEHLUNGEN FÜR DAS BAUINGENIEURSTUDIUM DER TU WIEN**

Mit der Einführung der verpflichtenden Lehrveranstaltung „Planungsprozesse mit BIM“ und dem Seminar „Integrated BIM Design Lab“ im neuen Studienplan des Masterstudiums Bauingenieurwesen wurden bereits wichtige Schritte unternommen, Building Information Modeling in die Lehre des Bauingenieurstudiums der TU Wien zu integrieren. Für die umfangreiche Eingliederung von BIM in den Lehrplan sind zukünftig weitere Maßnahmen, wie beispielsweise die Integration von BIM in bestehende Kurse, zu treffen. In diesem Kapitel wird eine konkrete Handlungsempfehlung erarbeitet und präsentiert, wie und in welchem Ausmaß BIM an der Technischen Universität Wien weiter in das bestehende Curriculum des Bauingenieurstudiums integriert werden kann. Für die Entwicklung dieser Implementierungsstrategie wurden die einzelnen Aspekte des in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Konzepts berücksichtigt und auf die Situation der TU Wien angepasst. Basis für die Ausarbeitung des Handlungsplans für die TU Wien, sind die unter Kapitel 3 erläuterten Erfahrungsberichte über bestehende BIM-spezifische Ausbildungsprogramme internationaler Universitäten.

Weil es in Österreich, anders als beispielsweise im Vereinigten Königreich, noch keine rechtlichen Vorgaben bezüglich eines BIM-Levels gibt, an welche die BIM-spezifischen Ausbildungsinhalte ausgerichtet werden können, werden die Lehrziele der TU Wien anhand verschiedener Erfahrungsberichte internationaler Universitäten festgelegt und definiert.

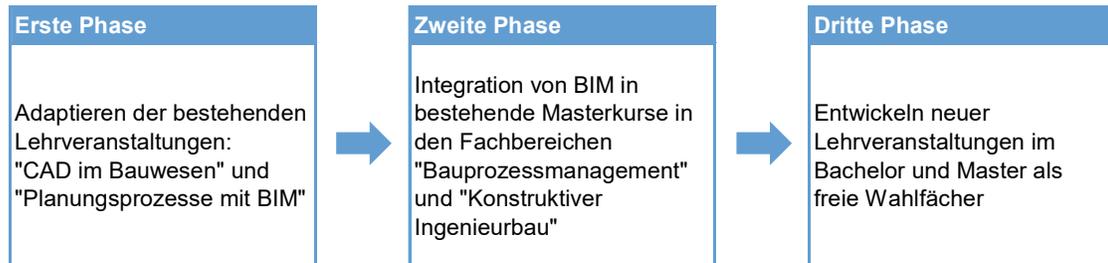
Für die Implementierung von BIM in den Lehrplan der TU Wien wird eine Kombination der in Kapitel 4.3 vorgestellten Strategien verwendet. In einem unabhängigen BIM-Kurs sollen die theoretischen Grundlagen gelehrt werden. Um die Präsenz und die Relevanz von BIM in den jeweiligen Fachbereichen zu stärken, sind ebenfalls die Lehrinhalte bestehender Kurse zu adaptieren und durch BIM-spezifische Komponenten zu ergänzen. Die im nachfolgenden Absatz vorgeschlagenen Änderungen im Studienplan beziehen sich sowohl auf das Bachelor- als auch auf das Masterstudium.

Der Implementierungsprozess an der TU Wien erstreckt sich über mehrere Jahre und wird in drei Implementierungsphasen, die nacheinander durchlaufen werden, unterteilt. Die Änderungen der ersten Phase weisen eine höhere Priorität auf, als jene der zweiten und diese wiederum eine höhere Priorität als die Änderungen der dritten Phase. Aus diesem Grund sollten diese Phasen nacheinander umgesetzt werden.

Die erste Initiative des Phasenplans umfasst die Integration der Grundlagen des dreidimensionalen Modellierens, welche die Basis der BIM-bezogenen Arbeitsweise darstellt, in die CAD-Ausbildung des Bachelorstudiums. Zudem werden in dieser ersten Phase die Lehrinhalte des verpflichtenden Masterkurses „Planungsprozesse mit BIM“ im Modul „Interdisziplinäre Ausbildung“ adaptiert und ergänzt. Ziel dieses ersten Schritts ist es, grundlegendes Wissen über BIM zu vermitteln und erste praktische Kenntnisse im Umgang mit Softwareprogrammen zu lehren. Die Maßnahmen der zweiten Phase des Eingliederungsprozesses umfassen das Integrieren von BIM in bestehende Masterkurse. In den Fachbereichen „Bauprozessmanagement“ und „Konstruktiver Ingenieurbau“ sollen die herkömmlichen Lehrinhalte durch BIM unterstützt und ergänzt werden. Ziel ist es, zu zeigen, wie BIM in den jeweiligen Fachbereichen angewendet werden kann und einen Vergleich zu konventionellen

Arbeitsweisen herzustellen. Die Integration von BIM in andere Fachbereiche erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. In der dritten Phase des Eingliederungsplans werden freie Wahlfächer für Bachelor- und Masterstudierende entwickelt. Dies soll besonders interessierten Studierenden die Möglichkeit geben, sich im Bereich Building Information Modeling zu vertiefen und ihre Fähigkeiten auszubauen.

In Abbildung 8 sind die einzelnen Phasen, die im Implementierungsprozess durchlaufen werden, übersichtlich dargestellt.



**Abbildung 8: Phasenplan des Implementierungsprozesses**

Nach der dritten Implementierungsphase ist es zudem wichtig, BIM in die übrigen Fachbereiche, wie „Verkehr und Mobilität“, „Geotechnik“ und „Wasserbau“, zu integrieren. Dies ist jedoch nicht im Umfang der primären Implementierungsstrategie enthalten. In den folgenden Abschnitten wird im Detail auf den Umfang der drei Implementierungsphasen eingegangen.

### 6.1 Erste Implementierungsphase

In der ersten Phase des Eingliederungsplans werden die Grundlagen des dreidimensionalen Modellierens in die Bachelorausbildung integriert und die Lehrinhalte des bereits existierenden Masterkurses „Planungsprozesse mit BIM“ adaptiert.

#### LVA „CAD im Bauwesen“

Aufgrund der umfangreichen Lehrinhalte von Building Information Modeling ist es sinnvoll, die Grundlagen des Modellierens, die für das Arbeiten mit BIM erforderlich sind, bereits im Bachelorstudium des Bauingenieurwesens zu schaffen. Die Lehrinhalte der CAD-Ausbildung können durch Aufgaben des dreidimensionalen Modellierens erweitert und ergänzt werden. Derzeit umfasst die verpflichtende Bachelorlehrveranstaltung „CAD im Bauwesen“ in erster Linie die softwaregestützte, zweidimensionale Planerstellung. [111] Zukünftig soll ebenfalls das dreidimensionale Modellieren in die Ausbildung aufgenommen werden und den Studierenden das Prinzip intelligenter Bauteile vermittelt werden. Zu den Lehrinhalten zählt das Erstellen dreidimensionaler Objekte, dessen Geometrien miteinander zu verknüpfen sind und die somit in Beziehung zueinander stehen, aber auch das Verwenden von Bauteilen aus einer Datenbank und das Verknüpfen von geometrischen Objekten mit technischen Daten. Beispielsweise wird unterrichtet, wie einem Objekt spezielle Werkstoffkenngrößen, wie Material oder U-Wert, zugeteilt werden können. Für diese Übungen eignen sich Softwareprogramme, wie ArchiCAD von Graphisoft, Revit von Autodesk oder Allplan des Unternehmens Nemetschek SE. Diese Modellierfähigkeiten sollen nur an einer einzelnen Software erlernt werden, da die Lehrinhalte zu umfangreich und vielschichtig wären, wenn

sie an verschiedenen Programmen unterrichtet werden würden. Die beschriebenen Lehrinhalte des dreidimensionalen Modellierens sollen jedoch nicht die zweidimensionalen Zeichnungen ersetzen, sondern als Ergänzung dienen.

Durch die Erweiterung der CAD-Lehrveranstaltung lernen die Studierenden die Arbeitsweise mit einer Modelliersoftware kennen und sammeln erste Erfahrung im Umgang mit Bauwerksinformationsmodellen, welche für die vertiefende BIM Ausbildung im Masterprogramm erforderlich sind. Neben den Fähigkeiten, dreidimensionale Modelle zu generieren und zu modifizieren, entwickeln die Studierenden Kompetenzen die Informationen in einem Modell zu erstellen und zu verändern. Die Modellieraufgaben fördern eine strukturierte Arbeitsweise sowie das räumliche Denken und verbessern das technische Verständnis, beispielsweise für mehrschichtige Wandbauteile. Die Lehrinhalte des Kurses sind auf das BIM Level 1 ausgerichtet.

In der Übung werden lediglich dreidimensionale Gebäudemodelle erstellt. Es findet kein softwarebasierter Austausch von Daten statt. Rein das Erstellen dreidimensionaler Modelle und Hinterlegen von technischen Daten entspricht noch nicht Building Information Modeling. Es sind jedoch die Grundvoraussetzungen, die für die anschließende BIM-bezogene Arbeitsweise benötigt werden.

### **LVA „Planungsprozesse mit BIM“**

Ein weiterer Bestandteil der ersten Phase des Implementierungsplans ist die Adaption der Lehrinhalte des bestehenden BIM-Kurses „Planungsprozesse mit BIM“, der verpflichtend im Masterstudium des Bauingenieurwesens ist. Analog zur derzeitigen Lehrveranstaltung wird der Kurs in einen Vorlesungsteil, in welchem die theoretischen Grundlagen über BIM gelehrt werden, und in einen praktischen Übungsteil, der in Gruppen ausgearbeitet wird, gegliedert. Die vorgeschlagenen Lehrinhalte des Kurses werden in Anlehnung an die Lehrveranstaltung „Integriertes Projekt Management“ der Twente University in den Niederlanden entwickelt und unterscheiden sich von den Kursinhalten der ursprünglichen Lehrveranstaltung „Planungsprozesse mit BIM“, die derzeit an der TU Wien angeboten wird. [79]

Zu Beginn der Lehrveranstaltung werden relevante theoretische Grundlagen von BIM aufgegriffen. Dazu zählen beispielsweise die allgemeine Begriffsbestimmung von BIM mit den verschiedenen Dimensionen und die Unterschiede zwischen CAD und BIM. Es werden die Anwendungsmöglichkeiten von BIM in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes und die Vorteile, aber auch Risiken, die sich durch die BIM-basierte Arbeitsweise ergeben, aufgearbeitet. Die Studierenden lernen grundlegende Kenntnisse der BIM-spezifischen, integrierten Arbeitsweise und sehen die daraus resultierenden Veränderungen von konventionellen Arbeitsmethoden. Zudem werden die Grundlagen über interoperable Daten und Softwareprodukte vermittelt und verschiedene Datenaustauschformate präsentiert, die für die kollaborative Arbeitsweise mit BIM erforderlich sind. Ein wichtiger Aspekt der theoretischen Ausbildung ist das Verständnis für regionale und nationale Normen, Richtlinien und Standards, die für eine BIM-spezifische Arbeitsweise unabdingbar sind. Die theoretischen Grundlagen werden wie am Unitec Institute of Technology in Neuseeland [82] von den Studierenden aufgearbeitet und im Rahmen von Präsentationen an die Kommilitonen weitergegeben. Für die Ausarbeitung der

beschriebenen Themen werden die Studierenden in Gruppen zu je drei Personen aufgeteilt, wobei jeder Gruppe ein Thema zugeteilt wird. In Form von Vorträgen werden die theoretischen Grundlagen über BIM einander präsentiert und in einem Handout dokumentiert. Diese Lehrmethode hat den Vorteil, dass die theoretischen Lehrinhalte jährlich von den Studierenden selbständig aufbereitet werden und dadurch aktuelle Erkenntnisse und Fortschritte erfasst und berücksichtigt werden. Die schnelllebigen Entwicklungen der BIM-Technologie erfordern eine kontinuierliche Anpassung der Lehrressourcen an den aktuellen Stand der Wissenschaft, was für die Ausbilder mit hohem Zeitaufwand verbunden ist. Bei der Ausarbeitung des Themas werden die Studierenden mit den Grundzügen des wissenschaftlichen Arbeitens vertraut, lernen den Umgang mit öffentlichen Datenbanken und verwenden wissenschaftliche Quellen für die Beantwortung einer bestimmten Fragestellung. Beim abschließenden Vortrag entwickeln die Studierenden Selbstbewusstsein und Routine beim Halten von Präsentationen. Zusätzlich werden externe Referenten, wie beispielsweise Auftraggeber, Planer, Bauunternehmer oder Ingenieurkonsulenten, die ihre persönliche Erfahrung teilen und die theoretischen Grundlagen durch praxisbezogene Fallbeispiele veranschaulichen, in die universitäre Lehre miteinbezogen. Die Fachkräfte schildern aktuelle Herausforderungen und Probleme in der Bauwirtschaft und zeigen die versteckten Potentiale und den Entwicklungsbedarf von BIM.

Der zweite Teil des BIM Kurses „Planungsprozesse mit BIM“ besteht aus einem praxisnahen Übungsprojekt, das in Gruppen zu vier bis fünf Personen ausgearbeitet wird. Das Ziel der Aufgabe ist es, alle relevanten Projektmanagementdaten, unter der Anwendung von kompatiblen Softwareprogrammen, miteinander zu verknüpfen und die integrierte Arbeitsweise von BIM kennen und anwenden zu lernen. Die Übungsaufgaben beziehen sich hauptsächlich auf Themenbereiche des Forschungsbereichs Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Zu Beginn der Übung werden alle Projektunterlagen, die für die Ausarbeitung der Aufgaben erforderlich sind, übergeben. Im ersten Schritt wird anhand von zweidimensionalen Plänen ein dreidimensionales Bauwerksmodell generiert. Hierfür ist das Bauwerk in einzelne Gebäudekomponenten zu unterteilen, diese werden wiederum unter den Mitgliedern einer Gruppe aufgeteilt. Nach der Fertigstellung der einzelnen Modelle werden diese zu einem Gesamtmodell zusammengefügt. Beim dreidimensionalen Modellieren aus zweidimensionalen Plänen sind plausible und realitätsgetreue Annahmen zu treffen, weil in den Zeichnungen nicht alle Informationen, die für die Erstellung eines vollständigen Bauwerksmodells erforderlich sind, ersichtlich sind. Bei dieser Aufgabe werden die Grundkenntnisse, die in der Bachelorübung „CAD im Bauwesen“ bereits gelernt wurden, an einem gesamtheitlichen Gebäude angewendet. Das generierte Modell ist die Basis für die weiterführenden Aufgaben. Die nächste Aufgabe ist die Ausarbeitung einer Kostenschätzung, basierend auf den Komponenten des BIM-Modells. Hierfür werden die Daten und Kenngrößen des Gebäudemodells mit der Kalkulationssoftware verknüpft, sodass Änderungen im Gebäudemodell automatisch in der Kostenschätzung übernommen werden. In der abschließenden Übungsaufgabe wird analysiert, wie sich geometrische Änderungen am Gebäudemodell auf die Baukosten auswirken. Bei der praktischen Ausbildung entwickeln die Studierenden ein Verständnis für die integrierte BIM-Arbeitsweise und für die Relevanz interoperabler Daten und Softwareprogramme. Sie lernen, wie der Datenaustausch zwischen verschiedenen Programmen funktioniert und wie Daten miteinander verknüpft werden können. Nach Absolvieren der Lehrveranstaltung sind die Studierenden in der Lage ganzheitliche,

dreidimensionale Modelle zu erstellen, diese für weitere Managementaufgaben weiter zu verwenden und eigenständig Kostenschätzungen mit einer integrierten Software zu generieren. Die Studierenden sollen das Selbstvertrauen entwickeln eine gesamtheitliche Projektmanagementaufgabe zu meistern. Darüber hinaus werden bei der Ausarbeitung des Projekts in einer Gruppe die kollaborativen Fähigkeiten gestärkt und die Kommunikationsfähigkeiten mit den Teammitgliedern verbessert. Das Arbeiten in einem Team erfordert gutes Organisationsmanagement.

Die Aufgabenstellung des Übungsprojekts steht in engem Zusammenhang mit den realen Bedingungen der Baubranche und bilden dadurch eine authentische Lernumgebung. Idealerweise ist das Übungsprojekt ein reales Bauwerk, dessen Unterlagen von einem Unternehmen zur Verfügung gestellt werden und den aktuellen industriellen Standards entsprechen. Dadurch reduzieren sich zum einen der Vorbereitungsaufwand für das Lehrpersonal und zum anderen erhalten die Studierenden umfangreiche, realitätsgetreue Projektunterlagen. Für die Ausarbeitung der Übungsaufgabe erhalten die Studierenden stufenweise Anleitungen für die Bewerksstellung der Aufgaben und werden durch Institutsmitarbeiter und Tutoren unterstützt. Ebenfalls werden Video-Tutorials vom jeweiligen Softwareanbieter zur Verfügung gestellt, die den Umgang mit Softwareprogrammen erleichtern.

Die Lernergebnisse der Lehrveranstaltung „Planungsprozesse mit BIM“ entsprechen den Anforderungen des BIM Levels 2. Neben wichtigen theoretischen Basiskonzepten, lernen die Studierenden schrittweise die integrierte Arbeitsweise und den Umgang mit BIM-bezogenen Softwareprogrammen. Weil sich BIM nicht nur auf den Hochbau beschränkt, sondern auf längere Sicht auch in den Bereichen des Straßenbaus, Eisenbahnwesens, Tunnelbaus und Brückenbaus verbreitet sein wird, werden in dieser Lehrveranstaltung, unabhängig der gewählten Vertiefungsrichtung, Grundkenntnisse über BIM im obligatorischen BIM Kurs entwickelt.

Die Inhalte der bestehenden und der adaptierten Lehrveranstaltung sind teilweise identisch, wie beispielsweise das Erstellen einer Kostenschätzung. Der Unterschied der adaptierten zur bestehenden Lehrveranstaltung liegt darin, dass beim adaptierten Kurs ein stärkerer Fokus auf eine umfangreiche theoretische Basisausbildung gelegt wird, die theoretischen Grundlagen werden von den Studierenden eigenständig erarbeitet und im Rahmen von Präsentationen an die Kommilitonen vermittelt. Zudem werden Fachkräfte aus der Bauwirtschaft in die Lehre einbezogen, um ihre Erfahrungen zu teilen. Bei der Ausarbeitung der Übungsaufgaben sind im Vergleich zum derzeitigen Kurs andere Schwerpunkte gesetzt. Während die derzeitige Lehre unter anderem das Entwickeln eines Gebäudekonzepts und die Tragwerksberechnung fokussiert, entfallen in der vorgeschlagenen Lehrveranstaltung die statischen Berechnungen. Es wird hingegen stärker auf das dreidimensionale Modellieren und den Umgang mit den Modellierprogrammen eingegangen. Zudem wird untersucht, wie sich Planänderungen auf die Kosten auswirken.

### *Praktische Umsetzung anhand eines Beispiels*

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Diplomarbeit wurde die Erstellung einer Kostenschätzung für eine sechsgeschossige Wohnanlage mit Tiefgarage durchgeführt. Hierfür wurden das Modellierungsprogramm ArchiCAD 20 und die Software Vico Office Suite, eine integrierte Plattform für das Planungsmanagement, das Kostenmanagement und die Terminplanung, verwendet. Anhand

eines bestehenden ArchiCAD 20 Modells wurden die Bauwerkskosten mithilfe der Software Vico Office Suite ermittelt. In diesem Abschnitt wird ein Beispiel präsentiert, wie die Übungsaufgabe zur Erstellung einer Kostenschätzung im Rahmen der Lehrveranstaltung „Planungsprozesse mit BIM“ aufgebaut werden kann. Dabei wird die Vorgehensweise der Studierenden bei den einzelnen Aufgaben beschrieben, ein Konstruktionsleitfaden präsentiert und die Voraussetzungen, die im Umgang mit den Softwareprogrammen erforderlich sind, aufgezeigt.

Basis für die Kostenschätzung bildet das dreidimensionale Bauwerksmodell in der Software ArchiCAD, welches von Studierenden bereits in einer vorherigen Übungsaufgabe generiert wurde. Zudem erhalten die Studierenden ein umfangreiches Leistungsverzeichnis im Programm Microsoft Excel. Dabei handelt es sich um eine Tabelle, in welcher alle Positionen inklusive Positionstext und den zugehörigen Kosten enthalten sind. Als Vorbereitung für die Kostenschätzung ist es wichtig, dass die Studierenden den Aufbau des Gebäudes, die einzelnen Bauelemente und die Aufbauten der Komponenten genau kennen, um sich ein Bild über den Umfang der Kostenschätzung zu machen.

Der erste Schritt bei der Erstellung einer Kostenschätzung ist das Anlegen eines neuen Projekts in der Software Vico, in welches anschließend das ArchiCAD Modell publiziert wird. Nach der Aktivierung in Vico ist eine dreidimensionale Darstellung des Gebäudemodells im Programm ersichtlich. In weiterer Folge wird die Excel Tabelle mit den Positionen und Kosten in Vico importiert, sodass die Studierenden mit der vorgegebenen Struktur weiterarbeiten können. In Vico werden die Bauteile in sogenannte „Takeoff Items“, in welchen die Massen und Mengen der enthaltenen Elemente berechnet werden, gegliedert. Diese Takeoff Items werden in weiterer Folge für die Kostenschätzung verwendet. Die ursprüngliche Struktur der Takeoff Items direkt nach dem Importieren des ArchiCAD Modells entspricht der Layerstruktur in ArchiCAD. Beispielsweise werden die Wände, die in ArchiCAD dem Layer „Außenwand Tragend“ zugeordnet sind, in Vico automatisch dem Takeoff Item „Außenwand Tragend“ zugeordnet. Um in der Software die Massen, die für die Kostenschätzung erforderlich sind, zu gliedern und zu gruppieren, muss die ursprüngliche Struktur der Takeoff Items erweitert und die Bauteile entsprechend zugeordnet werden. Beispielsweise sind die Fenster, die dem Item „Innenwände Fenster“ zugeordnet sind, in die einzelnen Fenstertypen aufzuteilen und einem separaten Takeoff Item zuzuordnen, da in der Kostenschätzung unterschiedliche Einheitspreise für verschiedene Fenster verwendet werden. Dasselbe Prinzip gilt für Türen, Betonwände mit unterschiedlichen Wandstärken etc. Ist eine vollständige Struktur der Takeoff Items erstellt worden, kann in der Tabelle der Kostenschätzung bei den einzelnen Positionen das Feld der Menge mit den entsprechenden Mengenparametern eines Takeoff Items verknüpft werden. Sind allen relevanten Positionen die jeweiligen Massen zugeordnet, können die Gesamtkosten aus der Tabelle entnommen werden.

Für eine übersichtliche und prägnante Darstellung werden die einzelnen Schritte zur Erstellung einer Kostenschätzung nachfolgend aufgelistet:

1. Neues Projekt in Vico Office anlegen
2. Publizieren des ArchiCAD Modells
3. Aktivieren des Projekts in Vico Office
4. Importieren der Tabelle aus Microsoft Excel in Vico Office

5. Struktur der Takeoff Items erweitern
6. Zuordnen der Bauelemente zu den jeweiligen Takeoff Items
7. Verknüpfen der Mengenparameter der Takeoff Items mit den jeweiligen Positionen in der Kostenschätzungstabelle

Der letzte Teil der Übungsaufgaben besteht darin geometrische Änderungen am Gebäudemodell vorzunehmen und anschließend diese Modifikationen in die Kostenschätzung zu übernehmen. Diese Übung dient dazu den Vorteil interoperabler Daten zu zeigen. In Vico Office gibt es zwei Möglichkeiten Änderungen des Modells in die Kostenschätzung zu übernehmen. Entweder das bestehende Gebäudemodell wird durch das adaptierte ersetzt. Dabei geht jedoch die ursprüngliche Kostenschätzung verloren. Der Vorteil ist jedoch, dass alle Einstellungen, wie beispielsweise die Struktur der Takeoff Items und die Zuordnung der Bauteile zu diesen, erhalten bleiben. Es werden nur die Massenänderungen im Modell übernommen. Bei der zweiten Variante wird in Vico im selben Projekt ein neues Modell eingespielt, dabei bleibt das alte Modell bestehen. Wird ein neues Modell zusätzlich zu einem bestehenden Projekt eingespielt, bleibt die Struktur der Takeoff Items erhalten, jedoch werden diese nicht automatisch zugeordnet. In diesem Fall sind erneut alle Bauteile den entsprechenden Takeoff Items zuzuordnen. Die Tabelle der Kostenschätzung und die Verknüpfung bzw. Zuordnung zu den jeweiligen Takeoff Items bleiben jedoch erhalten.

Für eine genaue Kostenschätzung ist es erforderlich bei der Erstellung des Gebäudemodells bestimmte Konstruktionsaspekte zu berücksichtigen. Mithilfe eines Konstruktionsleitfadens, welcher zu Beginn der Übungsaufgabe ausgehändigt wird, werden die Studierenden auf wichtige Punkte aufmerksam gemacht, die beim Modellieren zu berücksichtigen sind. Dadurch können etwaige Probleme und Komplikationen bei der Kostenschätzung verhindert werden.

Der Konstruktionsleitfaden umfasst folgende Punkte:

- Jedes Bauteil, welches in die Kostenschätzung einfließt, ist im digitalen Gebäudemodell als dreidimensionales Bauteil zu modellieren. In Vico Office werden nur Massen und Mengen von dreidimensionalen Objekten berechnet, zweidimensionale Darstellungen werden nicht erfasst.
- Bei der Konstruktion der Außenwände ist zu berücksichtigen, dass zwei getrennte Wandelemente zu modellieren sind. Zunächst ist ein Wandelement zu zeichnen, welches die tragenden Bauteile enthält. Anschließend wird auf der Innenseite ein weiteres Wandelement mit dem jeweiligen Belag erstellt. Dabei sind die unterschiedlichen Innenwandbekleidungen, wie beispielsweise gemalte oder geflieste Wandflächen, zu berücksichtigen.
- Für die Konstruktion der Innenwände wird dieselbe Herangehensweise wie bei den Außenwänden empfohlen. Es sind zwei separate Wände zu konstruieren, eine für das tragende Innenwandelement und eine zweite Wand mit der entsprechenden Wandbekleidung.
- Holztrennwände für Kellerabteile sind als dreidimensionales Element zu modellieren.
- Der Aufbau einer Gebäudedecke und des Dachs besteht aus drei unabhängigen Deckenelementen. Das erste Element ist die durchgängige Rohdecke. Darauf wird zwischen

den tragenden Innenwandelementen und den Trockenbauwänden ein weiteres Deckenelement mit dem entsprechenden Fußbodenaufbau eingefügt. Die oberste Schicht des Bodenaufbaus variiert je nach Raum zwischen Fliesen, Parkett, versiegelter Estrich etc. Ein weiteres Element ist an der Deckenunterseite einzufügen, um etwaige Dämmschichten oder gemalte Deckenoberflächen in der Kalkulation berücksichtigen zu können.

Für das Erstellen der Kostenschätzung sind keine Vorkenntnisse im Umgang mit dem Programm Vico Office erforderlich. Mithilfe von Video-Tutorials, die kostenlos im Internet zur Verfügung stehen oder gegebenenfalls vom Lehrpersonal zur Verfügung gestellt werden können, ist es rasch möglich die grundlegenden Funktionen im Umgang mit der Software zu erlernen und eigenständig eine Kostenschätzung zu erstellen.

## **6.2 Zweite Implementierungsphase**

In der zweiten Phase des Implementierungsprozesses wird BIM in verschiedene Kurse des Masterstudiums in den Fachbereichen „Konstruktiver Ingenieurbau“ und „Bauprozessmanagement“ integriert. Die Anwendungsgebiete und Schwerpunkte von BIM sind in jeder Disziplin des Bauwesens unterschiedlich. Deshalb ist es notwendig die jeweils relevanten Kernelemente von BIM fachspezifisch aufzuarbeiten. [41] Ziel ist es, dass in den verschiedenen Lehrveranstaltungen, in denen BIM integriert wird, BIM Kompetenzen des Levels 2 erreicht werden.

### **BIM im Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau**

Insbesondere die Masterkurse in den Bereichen Betonbau, Stahlbau, Holzbau und Bauphysik in der Vertiefungsrichtung des konstruktiven Ingenieurbaus eignen sich dazu, BIM in die Lehre zu integrieren und die konventionellen Lehrinhalte durch die softwarebasierte BIM-Arbeitsweise zu ergänzen. In den Lehrveranstaltungen Betonbau, Holzbau und Stahlbau wird den Studierenden ein digitales Tragwerksmodell zur Verfügung gestellt, mit welchem weitere statische Berechnungen und Dimensionierungen durchgeführt werden. Die erste Aufgabe besteht darin, das Modell in das Statikprogramm zu importieren und dabei die Schnittstellenproblematik zu lösen. Anschließend erfolgt die statische Berechnung mit der Software. Die Ergebnisse und berechneten Dimensionen werden schlussendlich wieder in das ursprüngliche Modell zurückgespielt, um ein komplettes, aktuelles Bauwerksmodell zu erhalten. Die softwarebasierte Ausbildung soll jedoch nicht die händischen statischen Berechnungen ersetzen, sondern lediglich ergänzen. Bei der BIM-spezifischen Ausbildung in den Kursen der Tragwerksplanung lernen die Studierenden zum einen den Datenaustausch zwischen Grafik- und Berechnungsprogrammen und zum anderen den praktischen Umgang mit Rechenprogrammen.

Im Fachbereich Bauphysik können softwaregestützte, bauphysikalische Nachweise, wie Energieausweise, Schallberechnungen oder Lichtsimulationen an einem realitätsnahen, gesamtheitlichen Gebäudemodell durchgeführt werden, welches von der Universität zur Verfügung gestellt wird. Das Bauwerksmodell enthält bereits für die Simulationen relevante bauphysikalische Informationen, wie Werkstoffeigenschaften und Baustoffkenngrößen. Die Berechnungsergebnisse werden anschließend interpretiert und Optimierungsvorschläge des Gebäudes präsentiert. Es ist darauf zu achten, dass

Simulationsprogramme verwendet werden, mit welchen ein direkter Datenaustausch zwischen architektonischen Modellen und bauphysikalischen Softwareprogrammen möglich ist. Bei der Einbettung von BIM in die Themenbereiche der Bauphysik lernen die Studierenden energetische Simulationen und Schallberechnungen mithilfe geeigneter BIM-spezifischer Softwareprogramme anhand eines vollständigen Bauwerksmodells, welches relevante physikalische Daten enthält, durchzuführen. Zudem erfahren die Studierenden verschiedene Datenaustauschverfahren zwischen Modellierprogrammen und bauphysikalischen Simulationsprogrammen.

### **BIM im Fachbereich Bauprozessmanagement**

Die BIM-spezifische Arbeitsweise hat Einfluss auf viele Aufgabenbereiche, die dem Baubetrieb und der Bauwirtschaft zugeordnet sind. Dazu zählt beispielsweise das Erstellen von Ausschreibungen inklusive Massenermittlungen, das Erstellen von Kostenschätzungen, das Planen des Bauablaufs, das Koordinieren und Steuern der einzelnen Projektbeteiligten und Bauleistungen und das Controlling. Aus diesem Grund ist es wichtig, BIM in die bestehenden Lehrveranstaltungen der Fachrichtung Bauprozessmanagement einzubinden und die herkömmlichen Arbeitsmethoden durch die Verwendung BIM-basierender Softwarewerkzeuge und Programme zu unterstützen.

Den Studierenden wird ein umfangreiches dreidimensionales Gebäudemodell zu Verfügung gestellt, mit welchem verschiedene Analysen und Simulationen durchgeführt werden. Anhand des dreidimensionalen Modells werden softwaregestützte Massenermittlungen durchgeführt, die anschließend für die Erstellung von Ausschreibungsunterlagen weiterverwendet werden. In weiterer Folge wird basierend auf dem Bauwerksmodell ein Bauzeitplan und anschließend ein Bauablaufplan entwickelt und zusammengestellt. Unter der Verwendung einer 4D-Software, wie beispielsweise Vico Office, verknüpfen die Studierenden den geometrischen Leistungsumfang des Bauwerksmodells mit dem erstellten Bauzeitplan und erhalten eine visuelle, räumliche Darstellung des Bauablaufs. Die Visualisierung offenbart technische und räumliche Probleme, die im geplanten Bauablauf auftreten würden. Abschließend werden Änderungen in der Planung vorgenommen und die Auswirkungen auf die Baukosten und die Bauzeit untersucht. Es wird beispielsweise analysiert, wie sich ein einwöchiger Baustopp auf die Baukosten und die weitere Bauzeit auswirkt. Bei der zweiten Modifikation wird untersucht, ob durch eine zusätzliche Investitionssumme, die Bauzeit um eine Woche verkürzt werden kann. Ziel dieser drei Aufgaben ist es, herauszufinden, wie gut die einzelnen Komponenten des Projektmanagements miteinander verknüpft sind.

Den Studierenden wird veranschaulicht, wie BIM zur Effizienzsteigerung verschiedener Arbeitsabläufe beitragen kann und wo die Vorteile zusammenhängender Daten und interoperabler Datenformate liegen. Es kann ein direkter Vergleich zwischen der herkömmlichen Arbeitsweise und der integrierten BIM-spezifischen Arbeitsweise hergestellt werden.

### 6.3 Dritte Implementierungsphase

In der dritten Phase des Implementierungsprozesses werden freie Wahlfächer für Studierende im Bachelor und im Master entwickelt. Dazu zählen die Lehrveranstaltungen „Management mit BIM“ und „Integrated BIM Design Lab“. Deren Lehrinhalte werden nachfolgend erläutert.

#### **LVA „Management mit BIM“**

Ein essentieller Aspekt von Building Information Modeling umfasst den Datenaustausch und das Durchführen von Clash Detections. Da dieses Themengebiet äußerst umfangreich ist und nicht in bestehende Kurse integriert werden kann, ist es notwendig einen separaten Kurs zu entwickeln, der diese Lehrinhalte abdeckt. Der vorgeschlagene Titel des Kurses lautet „Management mit BIM“ und kann als Wahlfach im Modul „Bauprozessmanagement“ angeboten werden. Die Lehrinhalte umfassen Aufgabenbereiche des Koordinierens und Managens von Informationen sowie das Leiten eines Projektteams.

Der Schwerpunkt des BIM-Managementkurses ist das Verwalten und Koordinieren aller Informationen eines Projekts. Die Studierenden lernen Daten mit unterschiedlichen Formaten auszutauschen und spielen einen kompletten Zyklus der Datenübertragung anhand eines zur Verfügung gestellten Bauwerksinformationsmodells durch. Beim Zusammenfügen von Daten werden die Studierenden mit Schwierigkeiten beim Einlesen konfrontiert. Bei derartigen Schnittstellenproblemen gilt es, individuelle Lösungen zu entwickeln, was gute IT-Kenntnisse erfordert. Beim Koordinieren der Informationen und Verwalten des Gebäudemodells entwickeln die Studierenden ausgeprägte praktische Fähigkeiten und Kenntnisse im Umgang mit BIM-spezifischen Softwareprogrammen.

In einer weiteren praktischen Übungsaufgabe fügen die Studierenden mehrere Teilmodelle, die von unterschiedlichen Fachplanern erstellt wurden, zu einem funktionsfähigen Gesamtmodell zusammen. Hierfür werden alle Projektinformationen der verschiedenen Beteiligten in ein interoperables Planungspaket integriert. Beim Zusammenfügen der dreidimensionalen Modelle kann es zu Unstimmigkeiten und Konflikten, beispielsweise aus geometrischer, technischer oder terminlicher Sicht, kommen. Um solche Widersprüche im Modell zu erkennen, lernen die Studierenden das Durchführen von Clash Detections. Dabei können bei Bauablaufsimulationen mögliche zukünftige Konflikte frühzeitig erkannt werden, die in der Bauphase aufgetreten wären.

In dieser Lehrveranstaltung lernen die Studierenden ebenfalls den praktischen Umgang mit spezifischen BIM-Normen, Richtlinien und Standards und erreichen mit positivem Abschluss des Kurses Kompetenzen des BIM Levels 2. [48]

#### **LVA „Integrated BIM Design Lab“**

Das Wahlfach „Integrated BIM Design Lab“ basiert auf dem derzeitigen Studienplan der TU Wien. Es handelt sich um einen fächerübergreifenden Kurs, in welchem Studierende der Fachrichtung Architektur und Bauingenieurwesen ein umfangreiches, gesamtheitliches Projekt hinsichtlich Gestaltung, Tragstruktur und Bauphysik planen. Die Lehrinhalte wurden bereits in Kapitel 3.2 ausführlich beschrieben, wobei mit der Ausbildung die Lernziele des BIM Level 2 erreicht werden.

Die Beteiligung von Studierenden an aktuellen Forschungsfragen ist ein wesentlicher Aspekt der universitären Lehre. Dementsprechend ist es wichtig, dass Studierende die Möglichkeit haben, sich an wissenschaftlichen Fragestellungen auf dem Gebiet der Digitalisierung im Bauwesen bzw. des Building Information Modeling beteiligen zu können und eigenständig eine zentrale Forschungsfrage erarbeiten. Dies kann in Form einer Projekt-, Bachelor- oder Diplomarbeit erfolgen.

In der beschriebenen Handlungsempfehlung wurden die Inhalte der Lehrveranstaltung „Planungsprozesse mit BIM“ überarbeitet und der Aufbau neu konzipiert. Der fächerübergreifende Kurs „Integrated BIM Design Lab“ wurde vom derzeitigen Lehrplan der TU Wien übernommen.

Auf längere Sicht werden auch in Masterkursen des Fachbereichs „Verkehr und Mobilität“ relevante Aspekte von BIM in bestehende Lehrveranstaltungen integriert werden, weil die Anwendung von BIM in diesen Disziplinen zukünftig zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. In Anlehnung an das Masterprogramm MSE der schweizer Fachhochschule können beispielsweise wichtige Aspekte von BIM bei Infrastrukturbauten, wie Straßen, Brücken und Tunnel, aber auch in der Geologie und Geotechnik gelehrt werden. [66]

Um die Professoren, Institutsmitarbeiter und Assistenten bei der herausfordernden Aufgabe, BIM in die Lehrinhalte ihres Fachbereichs zu integrieren, zu unterstützen, soll den Lehrenden, wie an der Helsinki Metropolia University of Applied Science, die Möglichkeit gegeben werden, sich im Bereich BIM weiterzubilden. [94] Im Rahmen eines mehrtägigen Workshops erfahren die Professoren, wie BIM in der jeweiligen Disziplin in die Lehre integriert werden kann, um die herkömmliche Lehre zu unterstützen und neue Methoden mit BIM zu lehren.

Ein zusammenfassender Überblick über die beschriebenen Lehrveranstaltungen mit den zugeordneten Lernzielen des vorgeschlagenen Lehrplans an der TU Wien werden in der nachfolgenden Tabelle 5 dargestellt. In der Grafik sind nur jene Ziele aufgelistet, die in direktem Zusammenhang mit Building Information Modeling stehen. Die Lernziele werden in die beiden Kategorien „spezifische BIM Fähigkeiten“ und „persönliche Fähigkeiten“ unterteilt. Unter die erste Kategorie fallen all jene Komponenten, die BIM-Werkzeuge und BIM-Methoden umfassen. Die zweite Kategorie beschreibt die sozialen Kompetenzen, die für die BIM-bezogene Arbeitsweise erforderlich sind. Dazu zählt beispielsweise eine selbständige und organisierte Arbeitsweise. Nicht in der Tabelle aufgelistet sind Möglichkeiten Projekt-, Bachelor- und Diplomarbeiten im Bereich Building Information Modeling zu schreiben.

Nicht zu vergessen ist der Beitrag diverser anderer Lehrveranstaltungen, in denen grundlegende menschliche Aspekte, die bei der BIM-bezogenen Arbeitsweise einen großen Stellenwert haben, gelehrt werden. Diese Kurse sind jedoch in Tabelle 5 nicht gesondert aufgelistet.

	Bachelor	Master	Master	Master	Master	Master	Master
Lehrveranstaltung	LVA „CAD im Bauwesen“	LVA „Planungsprozesse mit BIM“	BIM im Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau	BIM im Fachbereich Bauprozessmanagement	LVA „Management mit BIM“	LVA „Integrated BIM Design Lab“ [54]	Master
	integrierter Kurs, verpflichtend	unabhängiger Kurs, verpflichtend	integrierte Kurse	integrierte Kurse	unabhängiger Kurs, Wahlfach	fächerübergreifendes Wahlfach	Master
spezifische BIM Fähigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D Modellieren mit Software</li> <li>- Verknüpfen von Geometrien</li> <li>- technische Daten im Modell hinterlegen</li> <li>- Bauteilaufbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von BIM</li> <li>- Unterschied zwischen CAD und BIM</li> <li>- Methoden und Werkzeuge von BIM</li> <li>- 3D Modellieren mit Software</li> <li>- Kostenschätzung mittels BIM-Software</li> <li>- softwarebasierter Datenaustausch</li> <li>- integrierte BIM Arbeitsweise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- softwarebasierter Datenaustausch zwischen Bauwerksmodell und Berechnungsprogramm</li> <li>- statische Berechnung mit Softwareprogramm</li> <li>- thermische Gebäudesimulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- softwarebasierter Datenaustausch</li> <li>- Massenermittlung mit BIM</li> <li>- Ausschreibung erstellen mit BIM</li> <li>- Bauablauf- und Terminplanung mit BIM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geometrische Clash Detections</li> <li>- terminliche Clash Detections</li> <li>- Datenaustausch</li> <li>- Informationsmanagement</li> <li>- Lösen von Schnittstellenproblemen</li> <li>- Umgang mit Normen und Standards</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- interdisziplinärer Datenaustausch</li> <li>- entwurfsspezifische statische Berechnung mit BIM-Software</li> <li>- entwurfsspezifische thermische Gebäudesimulation mit BIM-Software</li> </ul>	Master
Persönliche Fähigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- räumliches Verständnis</li> <li>- technisches Verständnis</li> <li>- strukturierte Arbeitsweise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wissenschaftliches Arbeiten</li> <li>- Präsentationstechnik</li> <li>- kollaborative Arbeitsweise</li> <li>- Organisationsmanagement</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>- kollaborative Zusammenarbeit</li> <li>- Verständnis für andere Berufsgruppen</li> </ul>	Master

**Tabelle 5: Lehrveranstaltungen im überarbeiteten Lehrplan mit zugeordneten Lernergebnissen <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Projekt-, Bachelor- und Diplomarbeiten im Bereich Building Information Modeling werden nicht in der Tabelle aufgelistet

Aus der vorgestellten Handlungsempfehlung für die TU Wien, BIM in den Lehrplan zu integrieren, wird ersichtlich, dass die BIM-spezifische Arbeitsweise nicht die Lehre der herkömmlichen Arbeitsweisen ersetzt, sondern lediglich als Ergänzung in die Ausbildung integriert wird. Solange ein großer Anteil der Bauunternehmen, Planer, Auftraggeber und Ingenieurkonsulenten in Österreich traditionelle Prozesse und Technologien verwendet, ist es notwendig, diese auch an Universitäten zu lehren, um den Absolventen eine Beschäftigungsfähigkeit zu garantieren. [82]

Wird ein neues Themengebiet in den Lehrplan integriert, ist es besonders wichtig die Ausbildungsstrategien zu analysieren und die Erfahrungen in zukünftige Kurse einfließen zu lassen. Die Lehre von BIM ist vor allem zu Beginn ein iterativer Prozess, um eine adäquate Ausbildung zu garantieren. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklungen im Bereich Building Information Modeling ist es erforderlich, die universitären Lehrinhalte laufend an neue Erkenntnisse und Entwicklungen anzupassen. Um mit den kontinuierlichen Veränderungen der BIM-Technologie und der BIM-Prozesse Schritt zu halten, können Fachkräfte aus der Bauwirtschaft miteinbezogen werden.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Etablierung von Building Information Modeling in der Bauwirtschaft stellen gut ausgebildete Fachkräfte, die routiniert im Umgang mit der BIM-Technologie und der BIM-spezifischen Arbeitsweise sind, ein zentraler Bestandteil dar. Es liegt in der Verantwortung der Universitäten und Fachhochschulen den Entwicklungs- und Implementierungsprozess von BIM in der Bauwirtschaft voranzutreiben. Aus diesem Grund müssen die genannten Bildungsinstitutionen ihren Studierenden eine fundierte Ausbildung im Bereich BIM bieten, in welcher grundlegende Fähigkeiten im Umgang mit BIM gelehrt werden. Obwohl separate Studiengänge mit dem Schwerpunkt BIM entwickelt wurden, um eine einschlägige Ausbildung in diesem Bereich zu ermöglichen, ist es dennoch erforderlich, die herkömmlichen Studienpläne des Bauingenieurwesens um das Themengebiet BIM zu erweitern, damit die Absolventen eine breitgefächerte Ausbildung in allen relevanten Bereichen des Bauwesens erhalten und umfangreiche Qualifikation im späteren Arbeitsleben vorweisen können. Bei der Integration von BIM in den Lehrplan ist zu berücksichtigen, dass die herkömmlichen Arbeitsweisen in der Bauingenieurausbildung nicht durch Methoden der BIM-spezifischen Arbeitsweise ersetzt werden. Es gilt, die derzeitige Ausbildung mit den im jeweiligen Fachbereich relevanten Aspekten zu ergänzen. Da BIM in der österreichischen Bauwirtschaft noch nicht flächendeckend Anwendung findet, ist es ausschlaggebend, dass herkömmliche Berechnungsverfahren und Methoden weiterhin gelehrt werden.

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wurde im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit zunächst die gestellte Unterfrage *„Welche generellen Methoden gibt es, um Building Information Modeling in den Lehrplan von Universitäten zu integrieren?“* beantwortet. Basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche, in welcher unterschiedliche Implementierungsstrategien an verschiedenen Universitäten analysiert wurden, konnten vier Ansätze identifiziert werden, wie BIM in den Lehrplan des Bauingenieurwesens integriert werden kann. Im Rahmen eines unabhängigen BIM-Kurses werden ausschließlich BIM-spezifische Lehrinhalte behandelt. Bei integrierten BIM-Kursen wird BIM in bestehende Lehrveranstaltungen integriert, wobei die fachspezifischen Lehrinhalte des Kurses durch die jeweils relevanten BIM-Aspekte ergänzt werden. Eine weitere Möglichkeit ist eine fächerübergreifende Lehrveranstaltung, in welcher Studierende aus verschiedenen Studienrichtung gemeinsam an einem Projekt arbeiten. Dabei sind die auszuarbeitenden Aufgaben an die jeweiligen Studienrichtungen angepasst. Für besonders interessierte Studierende im Bereich BIM gibt es die Möglichkeit ein zentrales Projekt, beispielsweise im Rahmen einer Bachelor- oder Diplomarbeit, auszuarbeiten.

Für die Beantwortung der primären Forschungsfrage *„Wie kann Building Information Modeling in den Lehrplan des Studiengangs Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Wien integriert und eingebettet werden?“* wurde eine Kombination der vier genannten Ansätze gewählt. Im Rahmen eines unabhängigen BIM-Kurses werden die technischen Grundlagen sowie der Umgang mit BIM-spezifischen Softwareprogrammen gelehrt. Um die jeweiligen Aspekte von BIM in den einzelnen Fachbereichen kennen und anwenden zu lernen, wird die Methode in bereits bestehende Lehrveranstaltungen integriert. Dies bietet die Möglichkeit konventionelle Aufgaben in einer bestimmten Disziplin direkt mit der BIM-spezifischen Arbeitsweise zu vergleichen und wichtige

Zusammenhänge zu verstehen. Zusätzlich werden Wahlfächer angeboten, die es besonders interessierten Studierenden ermöglicht, sich im Bereich BIM weiterzubilden. Beim vorgeschlagenen Handlungsplan für die Technischen Universität Wien wird die Lehre von BIM hauptsächlich im Masterstudiengang integriert, wobei die drei primären Lernziele Technologie, Prozesse und menschliche Aspekte im Vordergrund stehen. Für das Erreichen dieser Lernziele werden unterschiedliche Ausbildungsstrategien verwendet.

Für Universitäten und Fachhochschulen, die vor der herausfordernden Aufgabe stehen, Building Information Modeling in ihre Ausbildung zu integrieren, bietet diese wissenschaftliche Arbeit einen Anhaltspunkt für erste Initiativen, da verschiedene Implementierungsstrategien analysiert, reflektiert und präsentiert und relevante Aspekte aufgezeigt werden, die beim Implementierungsprozess zu beachten sind. Der Leser erhält einen fundierten Überblick über mögliche Eingliederungsstrategien, Lehrmethoden und Lernziele.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ABDIRAD, H.; DOSSICK, C. S. (2016). BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review. ITcon Vol. 21 (250-271). <http://www.itcon.org/2016/17>.
- [2] ADAMU, Z. A.; THORPE, T. (2016). How universities are teaching BIM: a review and case study from the UK. ITcon Vol. 21 (119-139). <http://www.itcon.org/2016/8>.
- [3] AFFENZELLER, B. (2016). Digitalisierung ist mehr als BIM. In: Flatscher A (Hrsg.). Digitale Baumaschinen (18-19).
- [4] ANDERSSON, N. (2016). BIM Adoption in University Teaching Programs - The Swedish Case. In: Proceedings of CITA BIM Gathering Conference (163-168). Dublin: The Construction IT Alliance.
- [5] BADRINATH, A. C.; CHANG, Y.-T.; HSIEH, S.-H. (2016). A review of tertiary BIM education for advanced engineering communication with visualization. In: Visualization in Engineering: Springer Open.
- [6] BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. (2010). Review and Analysis of current Strategies for planning a BIM Curriculum. London.
- [7] Bauhaus-Universität Weimar. Bauwerksinformationsmodelle (BIM) - Einzelansicht. Online im Internet: <https://www.uni-weimar.de/qisserver/rds?state=verpublish&status=init&vmfile=no&moduleCall=webInfo&publishConfFile=webInfo&publishSubDir=veranstaltung&veranstaltung.veranstid=26539&purge=y&opitem=lectures&subitem=editlecture&asi=SUwg1OHNxD8tZ1OrbLsN>; Zugriff am: 9.02.2018.
- [8] Bauhaus-Universität Weimar. Building Information Modeling (Kommunikationssysteme 2907003) - Einzelansicht. Online im Internet: <https://www.uni-weimar.de/qisserver/rds?state=verpublish&status=init&vmfile=no&publishid=32464&moduleCall=webInfo&publishConfFile=webInfo&publishSubDir=veranstaltung>; Zugriff am: 9.02.2018.
- [9] Bauhaus-Universität Weimar. Modulkatalog. Bachelor - Studiengang. Online im Internet: [https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/bauing/hauptseiten/bauing/service/Technischer\\_Service/Modulkataloge/Modulkatalog\\_Bauing\\_Bachelor\\_KUB.pdf](https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/bauing/hauptseiten/bauing/service/Technischer_Service/Modulkataloge/Modulkatalog_Bauing_Bachelor_KUB.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [10] BAYER, B. (2015). Warum BIM nicht neu ist. BIM - Building Information Modeling (22-24).
- [11] BECERIK-GERBER, B.; GERBER, D. J.; KU, K. (2011). The pace of technological innovation in architecture, engineering, and construction education: integrating recent trends into the curricula. ITcon Vol. 16 (411-432). <http://www.itcon.org/2011/24>.
- [12] BERNERT, D. (2015). Die vernetzte Bauindustrie. BIM - Building Information Modeling (18-21).
- [13] BODDEN, J. L. (2015). Mängelhaftung bei BIM-Planungsprozessen. In: Tautschnig A (Hrsg.). Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM, IPDC 2015 (81-95).
- [14] BORRMANN, A.; et al. (2015). Einführung. In: Borrmann A, et al. (Hrsg.). Building Information Modeling, Technologische Grundlagen und industrielle Praxis 1-21. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [15] BOZOGLU, J. (2016). Collaboration and coordination learning modules for BIM education. ITcon Vol. 21 (152-163). <http://www.itcon.org/2016/10>.
- [16] Bundesministerium für Bildung. (k.A). HTL Bildung mit Zukunft. Online im Internet: <http://www.htl.at/>; Zugriff am: 10.05.2017.
- [17] BURKERT, S.; GASTEIGER, T. (2015). Digitale Planung aus Sicht eines institutionellen Bauherrn. In: Tautschnig A (Hrsg.). Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM, IPDC 2015 (49-58).
- [18] BUTZ, C.; ERGÜN, B. (2016). Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft - Potenziale und Herausforderungen von Building Information Modeling (BIM) für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Berlin.

- [19] CHRISTOPH, M.; et al. (2016). Building Information Modeling in der baubetrieblichen Ausbildung. In: Bauingenieur: Springer-VDI-Verlag.
- [20] CLEVENGER, C. M.; et al. (2017). Integrating BIM into Construction Management Education.
- [21] COSS, M. (2017). Digitaler Wandel in der Bauindustrie. Online im Internet:: Munich RE. <https://www.munichre.com/topics-online/de/2017/07/digital-trends-construction-industry>; Zugriff am: 21.04.2018.
- [22] Curriculum für das Bachelorstudium Bau- und Umweltingenieurwissenschaften an der Fakultät für Technische Wissenschaften der Universität Innsbruck. (01.10.2016).
- [23] Curriculum für das Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen. (29.02.2016).
- [24] DEMIRDOVEN, J.; ARDITI, D. (2014). Advancing BIM in the Construction Management and Engineering Curriculum.
- [25] EASTMAN, C. M. (2011). BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley.
- [26] Euroguidance Österreich. (2014). Das österreichische Bildungssystem. Schule- Oberstufe, Berufsbildende höhere Schule. Online im Internet: <http://www.bildungssystem.at/schule-oberstufe/berufsbildende-hoehere-schule/>; Zugriff am: 9.05.2017.
- [27] Fakultät für Technische Wissenschaften der Universität Innsbruck. (05.11.2014). Curriculum für das Masterstudium Bauingenieurwissenschaften an der Fakultät für Technische Wissenschaften der Universität Innsbruck.
- [28] FH Campus Wien. (k.A.). Bauingenieurwesen - Baumanagement. Bachelorstudium, Vollzeit. Online im Internet: [https://www.fh-campuswien.ac.at/studium/studien-und-weiterbildungsangebot/detail/bauingenieurwesen-baumanagement-bachelor-vz.html?tx\\_asfhw\\_course%5Bcontroller%5D=Course&cHash=4c1a953f34cab916aa3b5f8dd3fd78e0](https://www.fh-campuswien.ac.at/studium/studien-und-weiterbildungsangebot/detail/bauingenieurwesen-baumanagement-bachelor-vz.html?tx_asfhw_course%5Bcontroller%5D=Course&cHash=4c1a953f34cab916aa3b5f8dd3fd78e0); Zugriff am: 21.10.2017.
- [29] FH Campus Wien. (k.A.). Bauingenieurwesen - Baumanagement. Masterstudium, berufsbegleitend. Online im Internet: <https://www.fh-campuswien.ac.at/studium/studien-und-weiterbildungsangebot/detail/bauingenieurwesen-baumanagement-master-bb.html>; Zugriff am: 21.10.2017.
- [30] FH Kärnten. (2015). Bauingenieurwesen - Bachelor of Science in Engineering. Studienplan - Bauingenieurwesen. Online im Internet: <https://www.fh-kaernten.at/unser-studienangebot/bauingenieurwesen-architektur/ueberblick/bauingenieurwesen-architektur/bachelor/bauingenieurwesen/studienplan/>; Zugriff am: 29.10.2017.
- [31] FH Oberösterreich. (2017). Studienplan. Bachelor | Bauingenieurwesen im Hochbau. Online im Internet:: Fakultät für Technik und Angewandte Naturwissenschaften. <https://www.fh-ooe.at/campus-wels/studiengaenge/bachelor/bauingenieurwesen/alle-infos-zum-studium/studienplan/>; Zugriff am: 29.10.2017.
- [32] FRÖCH, G.; et al. (2015). FreeBIM-Tirol und die A 6241-2 - Anwendungsmöglichkeiten. In: Tautschnig A (Hrsg.). Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM, IPDC 2015 (39-47).
- [33] FRÖCH, G.; GÄCHTER, W.; OBERWINTER, L. (2017). freeBIM2 - der Merkmalsserver in der Praxis. In: Tautschnig A, Fröch G, Gächter W (Hrsg.). "BIM in der Wertschöpfungskette Bau", IPDC 2017: Aspekte der Digitalisierung in Baubetrieb und Bauwirtschaft (15-22).
- [34] GARY, G. M. (2017). BIM. Digitale Revolution und ihre Grenzen. Österreich: Linde.
- [35] GASTEIGER, A.; WERNIK, S.; OLTMANN, H.-G. (2015). Digitalisierung der Wertschöpfungskette BAU. In: Tautschnig A (Hrsg.). Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM, IPDC 2015 (137-154).
- [36] GHAFFARIANHOSEINI, A.; et al. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understand its implementation, risks and challenges. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews (1046-1053): Elsevier.
- [37] GORDON, C.; AZAMBUJA, M.; WERNER, A. M. (2009). BIM across the Construction Curriculum. Illinois.

- [38] HANDLE, D.; TIMLIN, F. (2017). Status der BIM-Implementierung bei ILF Consulting Engineers Austria GmbH. In: Tautschnig A, Fröch G, Gächter W (Hrsg.). "BIM in der Wertschöpfungskette Bau", IPDC 2017: Aspekte der Digitalisierung in Baubetrieb und Bauwirtschaft (23-32).
- [39] HIRNER, H. (2017). Building Information Modeling (BIM). Online im Internet: <https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/building-information-modeling-bim/>; Zugriff am: 7.04.2017.
- [40] Hochschule Luzern. (2016). Bachelor in Bautechnik: Technik & Architektur.
- [41] HOLLERMANN, S.; MELZNER, J.; SCHMIDT, H. (2014). Die Integration von Building Information Modeling in die Baubetriebslehre. In: Heck D (Hrsg.). Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 25. BBB-Assistententreffen ; [25. bis 27. Juni 2014 ; Tagungsband 2014] (123-134). Graz: Verl. der Techn. Univ. Graz.
- [42] HUHNT, W. (2014). Digitalisierung im Bauwesen: Thema für Baupraxis, Lehre und Forschung. 1. Grazer BIM-Tagung (9-21).
- [43] Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung. (k.A.). BIM\_Integrale Planungskonzepte WS 2012/13. Online im Internet: <http://www.industriebau.tuwien.ac.at/lehre/integrated-bim-design-lab/bim-integrale-planungskonzepte-ws-201213/>; Zugriff am: 14.10.2017.
- [44] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. (2016). Online im Internet: <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Weltkarte-leer.jpg>; Zugriff am: 14.05.2018.
- [45] JASON, U.; OLADOTUN, A. (2015). Current Position and Associated Challenges of BIM Education in UK Higher Education: BIM Academic Forum. Manchester.
- [46] JODL, H. G. (2015). Aktuelle Fragestellungen aus Sicht des Baubetriebs. In: Tautschnig A (Hrsg.). Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM, IPDC 2015 (25-37).
- [47] Jönköping University. Sustainable Building Information Management. Online im Internet: <http://ju.se/en/study-at-ju/our-programmes/master/sustainable-building-information-management.html>; Zugriff am: 29.05.2017.
- [48] KARL, C. K.; MUSIALEK, A.; MALKWITZ, A. Das Berufsbild BIM-Manager – Welche Kompetenzen sind gefragt? Online im Internet: <http://momentum-magazin.de/de/das-berufsbild-bim-manager-welche-kompetenzen-sind-gefragt/>; Zugriff am: 25.10.2017.
- [49] KARLSHØJ, J.; VESTERGAARD, F. (2016). Open BIM in courses in engineering education. In: Proceedings of the International RILEM Conference Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016 (10-18). Denmark: RILEM Publications.
- [50] Karlsruher Institut für Technologie. Modulhandbuch Bauingenieurwesen (B.Sc.). Online im Internet: [https://www.bgu.kit.edu/download/mhb\\_bau-ba-SPO2017\\_de.pdf](https://www.bgu.kit.edu/download/mhb_bau-ba-SPO2017_de.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [51] Karlsruher Institut für Technologie. Modulhandbuch Bauingenieurwesen (M.Sc.). Online im Internet: [https://www.bgu.kit.edu/download/mhb\\_bau\\_ma\\_SPO2017\\_de.pdf](https://www.bgu.kit.edu/download/mhb_bau_ma_SPO2017_de.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [52] kartoxjm (fotolia) / europakarte.org. Leere Europakarte zum Üben. Online im Internet: <http://www.europakarte.org/img/leere-europakarte.png>; Zugriff am: 11.05.2018.
- [53] KHORRAMI, N. (2015). Implementierung der Methode BIM in der Aus- und Weiterbildung in Deutschland. In: Berner F (Hrsg.). 26. BBB-Assistententreffen, Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik ; 17. - 19. Juni 2015 (95-104). Stuttgart.
- [54] KOVACIC, I. (2017). BIM in der Lehre an der TU Wien. In: Plattform 4.0 (Hrsg.). BIM und DIGI in der Lehre, Beispiele aus Skandinavien und Österreich.
- [55] LABUDDE, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht - Mythen, Definition, Fakten. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (11-19): Springer Link.
- [56] Landkartenindex. Landkarte von Schweiz und Liechtenstein (nur die Konturen und Grenzen, unbeschriftet). Online im Internet: <http://1.bp.blogspot.com/>-

- MFw0aYSy3A/TzwP3FjAUVI/AAAAAAAAQsQ/kjAb2hLAA7U/s1600/switzerland\_1.gif; Zugriff am: 11.05.2018.
- [57] LEE, N.; HOLLAR, D. A. (2013). Probing BIM Education in Construction Engineering and Management Programs Using Industry Überceptions: 49th ASC Annual International Conference Proceedings.
- [58] Leibniz Universität Hannover. Modulhandbuch zur Prüfungsordnung 2015. für den Studiengang Bau- und Umweltingenieurwesen (B. Sc.). Online im Internet: [https://www.fbg.uni-hannover.de/fileadmin/fakultaet/Dateiverzeichnis/Studierende/Modulkataloge/Modulkatalog\\_BU](https://www.fbg.uni-hannover.de/fileadmin/fakultaet/Dateiverzeichnis/Studierende/Modulkataloge/Modulkatalog_BU); Zugriff am: 9.02.2018.
- [59] Leibniz Universität Hannover. Modulhandbuch zur Prüfungsordnung 2015. für den Studiengang Konstruktiver Ingenieurbau (M. Sc.). Online im Internet: [https://www.fbg.uni-hannover.de/fileadmin/fakultaet/Dateiverzeichnis/Studierende/Modulkataloge/Modulkatalog\\_KIB](https://www.fbg.uni-hannover.de/fileadmin/fakultaet/Dateiverzeichnis/Studierende/Modulkataloge/Modulkatalog_KIB); Zugriff am: 9.10.2018.
- [60] LEITE, F. (2016). Project-based learning in a building information modeling for construction management course. ITcon Vol. 21 (164-176). <http://www.itcon.org/2016/11>.
- [61] LIEBCHEN, J. H. (2014). Building Information Modeling (BIM) - Eine Herausforderung an die zeitgemäße Ausbildung von im Bauwesen tätigen Ingenieurinnen und Ingenieuren. Berlin.
- [62] LINDBLAD, H. (2013). Study of the implementation process of BIM in construction projects. Analysis of the barriers limiting BIM adoption in the AEC-industry: KTH. Stockholm.
- [63] LITZEL, N. (2017). Was ist Digitalisierung? Online im Internet.: BigData Insider. <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-digitalisierung-a-626489/>; Zugriff am: 21.04.2018.
- [64] Lünendonk. (2017). Die sieben BIM-Dimensionen. Online im Internet: [http://lunendonk.de/wp-content/uploads/2017/04/LUE\\_2.PI\\_Whitepaper\\_BIM\\_Grafik\\_f270417.jpg](http://lunendonk.de/wp-content/uploads/2017/04/LUE_2.PI_Whitepaper_BIM_Grafik_f270417.jpg); Zugriff am: 22.04.2018.
- [65] MACDONALD, J. A. (2012). A framework for collaborative BIM education across the AEC disciplines: 37th Annual Conference of Australasian Universities Building Educators Association (AUBEA). Sydney Australien.
- [66] Masterkommission Schweizer Fachhochschulen. (10.10.2015). Building Information Modelling. MSE - Modulbeschrieb.
- [67] MCGOUGH, D.; AHMED, A.; AUSTIN, S. (2013). Integration of BIM in higher education: case study of the adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building: Coventry University. United Kingdom.
- [68] Meistertipp. (2010). Was bedeutet Digitalisierung im Baugewerbe? Online im Internet: <http://www.meistertipp.de/meisterbuero/social-media-internet/was-bedeutet-digitalisierung-im-baugewerbe>; Zugriff am: 3.05.2017.
- [69] Modulhandbuch Bachelorstudiengang Bauingenieurwesen der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW: Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik. (07.09.2016).
- [70] MSE. (2017). Master of Science in Engineering. Online im Internet: <https://www.msengineering.ch>; Zugriff am: 10.05.2017.
- [71] NAWARI, N. O.; KUENSTLE, M. W. (2015). Building information modeling. Framework for structural design. Boca Raton, Fla.: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [72] NGO, M. H. (25-26.06.2012). UK Construction Industry's responses to Government Construction Strategy BIM deadline and applications to civil engineering education. London.
- [73] o.V. Grundbegriffe Additive Fertigung. Online im Internet.: Form-Werkzeug: Das Branchenportal für den Werkzeug- und Formenbau. <https://www.form-werkzeug.de/themen/fw-wiki/produktionsprozess/additive-fertigung/artikel/grundbegriffe-additive-fertigung-987175.html>; Zugriff am: 21.04.2018.
- [74] o.V. (2007). Technology Advances & New Methods of Project Delivery Pint to Change for A/E Firms. Design Firm Management & Administration Report.

- [75] o.V. (2017). Digitalisierung als Chance für die Bauwirtschaft. Online im Internet: wirtschaft.tirol. <https://www.wirtschaft.tirol/2017/03/03/digitalisierung-als-chance-fuer-die-bauwirtschaft/>; Zugriff am: 20.04.2018.
- [76] o.V. (2017). Studie zum Megatrend Digitalisierung: Die Baubranche muss aufholen. Online im Internet: <https://blog.allplan.com/de/digitalisierung-der-bauwirtschaft/>; Zugriff am: 20.04.2018.
- [77] PANUWATWANICH, K.; et al. (2013). Integrating building information modelling (BIM) into Engineering education: an exploratory study of industry perceptions using social network data. In: AAEE2013: Australasian Association for Engineering Education Conference (1-9).
- [78] PETER, B.; OPPE, M. (2017). Die Digitalisierung im Bauwesen ist eine Chance. Über Prozessketten und notwendige Paradigmenwechsel. In: Stahlbau 86 (202-207). Berlin: Ernst & Sohn.
- [79] PETERSON, F.; et al. (2011). Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned. In: Automation in Construction (115-125): Elsevier.
- [80] PISKERNIK, M.; URBAN, H. (2017). Studie: Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen. Analyse der Potenziale und Herausforderungen durch die zunehmende Digitalisierung der österreichischen Baubranche, Ableitung von Handlungsfeldern für zukünftige Forschung aus Sicht von Wissenschaft und Praxis. Wien.
- [81] PROFESSNER, H. (2017). Die Digitalisierung des Bauprozesses und der damit verbundene Wandel. In: Tautschnig A, Fröch G, Gächter W (Hrsg.). "BIM in der Wertschöpfungskette Bau", IPDC 2017: Aspekte der Digitalisierung in Baubetrieb und Bauwirtschaft (93-113).
- [82] PUOLITAIVAL, T.; FORSYTHE, P. (2016). Practical challenges of BIM education. In: Structural Survey (351-366).
- [83] Ruhr-Universität Bochum. Bachelorstudiengang Bauingenieurwesen PO 2013. Modulhandbuch. Online im Internet: [http://www.fbi.ruhr-uni-bochum.de/fbi/mam/content/pruefungsamt/mh\\_bsc\\_bi\\_ws1718neu/](http://www.fbi.ruhr-uni-bochum.de/fbi/mam/content/pruefungsamt/mh_bsc_bi_ws1718neu/); Zugriff am: 9.02.2018.
- [84] Ruhr-Universität Bochum. Masterstudiengang Bauingenieurwesen PO 2013. Modulhandbuch. Online im Internet: [http://www.fbi.ruhr-uni-bochum.de/fbi/mam/content/pruefungsamt/mh\\_msc\\_bi\\_ws1718.pdf](http://www.fbi.ruhr-uni-bochum.de/fbi/mam/content/pruefungsamt/mh_msc_bi_ws1718.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [85] RWTH Aachen University. 2. Ordnung zur Änderung der studiengangspezifischen Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen vom 16.05.2017. Online im Internet: [http://www.rwth-aachen.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaavslmw](http://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaavslmw); Zugriff am: 9.02.2018.
- [86] RWTH Aachen University. 3. Ordnung zur Änderung der Studiengangspezifischen Prüfung für den Bachelorstudiengang Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen vom 08.08.2017. Online im Internet: [http://www.rwth-aachen.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaawnwvm](http://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaawnwvm); Zugriff am: 9.02.2018.
- [87] SCHAPKE, S. E.; JUG, M. (2017). BIM Collaboration - Grundlagen für den projektweiten Einsatz von BIM. In: Tautschnig A, Fröch G, Gächter W (Hrsg.). "BIM in der Wertschöpfungskette Bau", IPDC 2017: Aspekte der Digitalisierung in Baubetrieb und Bauwirtschaft (206-218).
- [88] SCHERER, R. J.; SCHAPKE, S.-E. (2014). Multimodellbasierte Zusammenarbeit in Bauprojekten. In: Scherer RJ, Schapke S-E (Hrsg.). Informationssysteme im Bauwesen 1, Modelle, Methoden und Prozesse (3-38). Berlin: Springer Vieweg.
- [89] SCHOBER, K.-S.; HOFF, P.; NÖLLING, K. (2016). Digitalisierung der Bauwirtschaft. Der europäische Weg zu "Construction 4.0". Think Act - beyond mainstream.
- [90] SHELBOURN, M.; MACDONALD, J.; MILLS, J. (2016). An international framework for collaborative BIM Education: Royal Institution of Chartered Surveyors.
- [91] Stepmap. Online im Internet: <http://www.stepmap.de/landkarte/oesterreich-leer-1474207.png>; Zugriff am: 11.05.2018.
- [92] Studieren. Fachhochschulen in Österreich - Ein Überblick. Online im Internet: <http://www.studieren.at/fachhochschulen/>; Zugriff am: 5.10.2017.

- [93] Studieren. Öffentliche Universitäten in Österreich - Ein Überblick. Online im Internet: <http://www.studieren.at/universitaeten>; Zugriff am: 5.10.2017.
- [94] SUWAL, S.; et al. Exploring BIM-Based Education Perspectives. Online im Internet: <https://www.library.auckland.ac.nz/external/finalproceeding/Files/Papers/46530final00058.pdf>; Zugriff am: 28.10.2017.
- [95] Tautschnig A, editor. Simulation von Planungs- und Bauprozessen - that's BIM. IPDC 2015. 1st ed.; 2015. 213 Seiten. (i3b-Schriftenreihe: Bauwirtschaft und Projektmanagement).
- [96] Technische Universität Darmstadt. Modulhandbuch des Bachelor-Studiengangs Bauingenieurwesen und Geodäsie (B. Sc.). Online im Internet: [http://www.bi.tu-darmstadt.de/media/fachstudienberatung\\_bauingenieurwesen/downloadsundlinks/aktuelle\\_downloads/bsc\\_bauingenieurwesen\\_und\\_geodaesie\\_so\\_2014/2\\_studienordnung\\_und\\_ausfuehrungsbestimmungen\\_4/Modulhandbuch\\_BSc\\_BIG\\_FB13\\_TUD.pdf](http://www.bi.tu-darmstadt.de/media/fachstudienberatung_bauingenieurwesen/downloadsundlinks/aktuelle_downloads/bsc_bauingenieurwesen_und_geodaesie_so_2014/2_studienordnung_und_ausfuehrungsbestimmungen_4/Modulhandbuch_BSc_BIG_FB13_TUD.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [97] Technische Universität Darmstadt. Modulhandbuch des Master-Studiengangs Bauingenieurwesen (M. Sc.). Online im Internet: [http://www.bi.tu-darmstadt.de/media/fachstudienberatung\\_bauingenieurwesen/downloadsundlinks/aktuelle\\_downloads/msc\\_bauingenieurwesen\\_so\\_2014/2\\_studienordnung\\_und\\_ausfuehrungsbestimmungen\\_3/Modulhandbuch\\_MSc\\_BI\\_FB13\\_TUD.pdf](http://www.bi.tu-darmstadt.de/media/fachstudienberatung_bauingenieurwesen/downloadsundlinks/aktuelle_downloads/msc_bauingenieurwesen_so_2014/2_studienordnung_und_ausfuehrungsbestimmungen_3/Modulhandbuch_MSc_BI_FB13_TUD.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [98] Technische Universität Dortmund. (02.10.2017). Modulhandbuch. Bachelor Bauingenieurwesen (B.Sc.). Online im Internet: [https://www.bauwesen.tu-dortmund.de/haupt/Medienpool/Downloads/Downloads-WS-2017\\_18/ING-BA\\_Modulhandbuch-2014.pdf](https://www.bauwesen.tu-dortmund.de/haupt/Medienpool/Downloads/Downloads-WS-2017_18/ING-BA_Modulhandbuch-2014.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [99] Technische Universität Dortmund. (02.10.2017). Wahlpflichtfach-Katalog. Master Konstruktiver Ingenieurbau (M.Sc.). Online im Internet: [https://www.bauwesen.tu-dortmund.de/haupt/Medienpool/Downloads/Downloads-WS-2017\\_18/ING-MA\\_WPF-Katalog-2014.pdf](https://www.bauwesen.tu-dortmund.de/haupt/Medienpool/Downloads/Downloads-WS-2017_18/ING-MA_WPF-Katalog-2014.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [100] Technische Universität Graz. (2017). Lehrveranstaltung - Detailansicht. 218.392 Building Information Modeling. Online im Internet: [https://online.tugraz.at/tug\\_online/wbLv.wbShowLVDetail?pSpracheNr=1&pStpSpNr=200179](https://online.tugraz.at/tug_online/wbLv.wbShowLVDetail?pSpracheNr=1&pStpSpNr=200179); Zugriff am: 9.05.2017.
- [101] Technische Universität Kaiserslautern. (07.03.2017). Studienverlaufsplan des Bachelorstudiengangs Bauingenieurwesen ab WS 2016/17. Online im Internet: [https://webbi.arubi.uni-kl.de/Bauingenieurwesen/Studium/Bi-Bachelor-Master/BI-Bachelor-ab-WS-2016-17/interaktiver\\_studienverlaufsplan\\_bscbi.php#Math\\_naturwiss\\_GrdI](https://webbi.arubi.uni-kl.de/Bauingenieurwesen/Studium/Bi-Bachelor-Master/BI-Bachelor-ab-WS-2016-17/interaktiver_studienverlaufsplan_bscbi.php#Math_naturwiss_GrdI); Zugriff am: 8.02.2018.
- [102] Technische Universität Kaiserslautern. (15.10.2017). Modulhandbuch Masterstudiengang "Bauingenieurwesen - Konstruktiver Ingenieurbau (KIB)". Online im Internet: <https://webbi.arubi.uni-kl.de/Bauingenieurwesen/Studium/Bi-Bachelor-Master/BI-Master/BI-Master-KIB/modulhandbuch-kib.pdf>; Zugriff am: 8.02.2018.
- [103] Technische Universität Wien. Planungsprozesse mit BIM. Online im Internet: <https://tiss.tuwien.ac.at/course/courseDetails.xhtml?dswid=3576&dsrid=396&courseNr=234145&semester=2018S>; Zugriff am: 3.03.2018.
- [104] TREMP, P. (2005). Verknüpfung von Lehre und Forschung: Eine universitäre Tradition als didaktische Herausforderung. In: Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 23 (339-348).
- [105] TU Berlin. (15.04.2015). Studienübersicht Bauingenieurwesen Master Modulbeschreibung. Online im Internet: [https://www.planen-bauen-umwelt.tu-berlin.de/fileadmin/f6/Studieng\\_nge/01\\_Modulkataloge/Bauing\\_M\\_StuPO\\_17.12.2008\\_\\_SoSe15.pdf](https://www.planen-bauen-umwelt.tu-berlin.de/fileadmin/f6/Studieng_nge/01_Modulkataloge/Bauing_M_StuPO_17.12.2008__SoSe15.pdf); Zugriff am: 9.02.2018.
- [106] TU Berlin. (17.09.2015). Studiengangsübersicht Bauingenieurwesen Bachelor Modulkatalog. Online im Internet: [https://www.bau.tu-berlin.de/fileadmin/i12/Studienfachberatung/Bachelor/BauIng\\_B\\_Modulkatalog\\_StuPO2015\\_20150917](https://www.bau.tu-berlin.de/fileadmin/i12/Studienfachberatung/Bachelor/BauIng_B_Modulkatalog_StuPO2015_20150917); Zugriff am: 9.02.2018.
- [107] TU Dresden. Overview Curriculum. Master of Science. Online im Internet: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/ressourcen/dateien/studium/access/OverviewCurriculum.pdf?lang=de>; Zugriff am: 8.02.2018.

- [108] TU Dresden. (02.11.2016). WP4-33 Software Systeme (Systementwicklung). Wahlveranstaltung. Online im Internet: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/cib/studium/lehveranstaltungen/wp4-33-software-systeme-systementwicklung>; Zugriff am: 8.02.2018.
- [109] TU Wien Informations-Systeme & Services. (2016). 234.141 Integrale Planungskonzepte mit BIM (Building Information Modelling). Online im Internet: <https://tiss.tuwien.ac.at/course/courseDetails.xhtml?dswid=4469&dsrid=177&courseNr=234141&semester=2016W>; Zugriff am: 14.10.2017.
- [110] TU Wien Informations-Systeme & Services. (2017). 234.174 Integrated BIM Design Lab. Online im Internet: <https://tiss.tuwien.ac.at/course/courseDetails.xhtml?dswid=7319&dsrid=429&courseNr=234174&semester=2017W>; Zugriff am: 14.10.2017.
- [111] TU Wien Informations-Systeme & Services. (2017). 242.023 CAD im Bauwesen. Online im Internet: <https://tiss.tuwien.ac.at/course/courseDetails.xhtml?dswid=8845&dsrid=108&courseNr=242023&semester=2017W>; Zugriff am: 23.10.2017.
- [112] UNDERWOOD, J.; et al. (2013). Embedding Building Information Modelling (BIM) within the taught curriculum. Supporting BIM implementation and adoption through the development of learning outcomes within the UK academic context for built environment programmes: Higher Education Academy (HEA). York.
- [113] Universität der Bundeswehr München. (10.04.2017). Modulhandbuch des Studiengangs Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften (Bachelor of Science) an der Universität der Bundeswehr München. (Version 2017). Neubiberg.
- [114] Universität der Bundeswehr München. (17.10.2017). Modulhandbuch des Studiengangs Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften (Master of Science an der Universität der Bundeswehr München. (Version 2018). Neubiberg.
- [115] Universität Kassel. (15.11.2017). Modulhandbuch für den Studiengang. Bachelor of Science (B. Sc.) Bauingenieurwesen. Online im Internet: [https://www.uni-kassel.de/fb14bau/fileadmin/datas/fb14/Studium/PO-Bauingenieurwesen/2014/Bauing\\_PO2014\\_Bachelor\\_MHB\\_2017-11-15.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14bau/fileadmin/datas/fb14/Studium/PO-Bauingenieurwesen/2014/Bauing_PO2014_Bachelor_MHB_2017-11-15.pdf); Zugriff am: 8.02.2018.
- [116] Universität Kassel. (15.11.2017). Modulhandbuch für den Studiengang. Master of Science (M. Sc.) Bauingenieurwesen. Online im Internet: [http://www.uni-kassel.de/fb14bau/fileadmin/datas/fb14/Studium/PO-Bauingenieurwesen/2014/Bauing\\_PO2014\\_Master\\_MHB\\_2017-11-15.pdf](http://www.uni-kassel.de/fb14bau/fileadmin/datas/fb14/Studium/PO-Bauingenieurwesen/2014/Bauing_PO2014_Master_MHB_2017-11-15.pdf); Zugriff am: 8.02.2018.
- [117] Universität Stuttgart. Studiengang BSc Bauingenieurwesen - Prüfungsordnung 2011. Online im Internet: [https://www.uni-stuttgart.de/studium/studienangebot/document/studienverlaufsplan/Studienverlaufsplan\\_BSc\\_Bauingenieurwesen.pdf](https://www.uni-stuttgart.de/studium/studienangebot/document/studienverlaufsplan/Studienverlaufsplan_BSc_Bauingenieurwesen.pdf).
- [118] Universität Stuttgart. (21.04.2016). Mastermodul Bauprozessmanagement in der Praxis. Online im Internet: <http://www.ibl.uni-stuttgart.de/studium/bpamidp/>.
- [119] VIERING, M.; RODDE, N.; ZANNER, C. (2015). Immobilien- und Bauwirtschaft aktuell - Entwicklungen und Tendenzen. Festschrift für Professor Bernd Kochendörfer. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [120] WONG, K.-d. A.; WONG, K.-w. F.; NADEEM, A. (2011). Building information modelling for tertiary construction education in Hong Kong. ITcon Vol. 16 (467-476). <http://www.itcon.org/2011/27>.
- [121] ZEITNER, R.; PEYINGHAUS, M. (2015). IT-Management Real Estate. Lösungen für digitale Kernkompetenzen. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: Sieben Dimensionen von BIM [64].....	8
Abbildung 2: Stufen des Einsatzes von BIM [14].....	9
Abbildung 3: Das BIM Maturity Model [14].....	10
Abbildung 4: Informationsverlust [14].....	13
Abbildung 5: Darstellung der ausgewählten Bildungsinstitutionen in Europa .....	65
Abbildung 6: Darstellung der ausgewählten Bildungsinstitutionen in Amerika, Neuseeland und China .....	66
Abbildung 7: Vergleich der Lernziele an HTLs, Fachhochschulen und Universitäten.....	94
Abbildung 8: Phasenplan des Implementierungsprozesses .....	96

## **TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1: BIM-spezifische Ausbildungen an Universitäten in Österreich .....	24
Tabelle 2: BIM-spezifische Ausbildungen an Fachhochschulen in Österreich.....	26
Tabelle 3: BIM-spezifische Ausbildungen in Deutschland .....	27
Tabelle 4: Erkenntnisse der ausgewählten Bildungsinstitutionen.....	75
Tabelle 5: Lehrveranstaltungen im überarbeiteten Lehrplan mit zugeordneten Lernergebnissen .....	106

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG



Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

### **DIPLOMARBEIT**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Wien, am 07.06.2018

---

Ursula Mariacher