



## BACHELORARBEIT

Technische Hochschule Deggendorf

Fakultät Bauingenieurwesen und Umwelttechnik

Studiengang Bauingenieurwesen

### ***Chancen und Herausforderungen von Tragwerksplanern durch Anwendung von BIM***

### ***Chances and Challenges of Structural Engineers by Application of BIM***

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades:

Bachelor of Engineering

an der Technischen Hochschule Deggendorf

vorgelegt von:  
*Dlupal Daniel*

Prüfer:  
*Prof. Dr.-Ing. Parviz Sadegh-Azar*

Deggendorf, den 04.10.2018

# I Erklärung

Name der/des Studierenden: Daniel Dlubal

Professor/Betreuer an der Hochschule: Prof.Dr.-Ing.Parviz Sadegh-Azar

Thema der Bachelorarbeit (deutsch / englisch):

Chancen und Herausforderungen von Tragwerksplanern durch Anwendung von BIM

Chances and Challenges of Structural Engineers by Application of BIM

1. Ich erkläre hiermit, dass ich die Bachelorarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Deggendorf,

04.10.2018

(Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift der/des Studierenden)

2. Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Bachelorarbeit über die Bibliothek der Hochschule einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

- Ja
- Nein

## Falls Ja:

Ich erkläre und stehe dafür ein, dass ich alleiniger Inhaber aller Rechte an der Bachelorarbeit, einschließlich des Verfügungsrechts über Vorlagen an beigefügten Abbildungen, Plänen o.ä., bin und durch deren öffentliche Zugänglichmachung weder Rechte und Ansprüche Dritter noch gesetzliche Bestimmungen verletzt werden.

Deggendorf,

04.10.2018

(Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift der/des Studierenden)

Bei Einverständnis des Verfassers mit einer Zugänglichmachung der Bachelorarbeit vom Betreuer auszufüllen:

Eine Aufnahme eines Exemplars der Bachelorarbeit in den Bestand der Bibliothek und die Ausleihe des Exemplars wird

- befürwortet.
- nicht befürwortet.

Deggendorf,

04.10.2018

(Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des/der Prüfers/in)

## II Vorwort

Die vorliegende Bachelorarbeit handelt von Chancen und Herausforderungen, die sich für Tragwerksplaner sowie Baustatiker durch die Anwendung der Arbeitsmethode BIM ergeben. Sie entstand im Rahmen meines Studiums des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Deggendorf im 8. Semester.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben.

Die Anregung zu diesem Thema erhielt ich von Prof. Dr.-Ing. Parviz Sadegh-Azar und möchte mich an dieser Stelle für seine Betreuung und die Unterstützung seitens der Technischen Hochschule Deggendorf bedanken. Während ich Schulungen in seinen Vorlesungen über ein FEM-Statikprogramm hielt, konnten wir ein gutes Verhältnis aufbauen und somit stand mir stets als hervorragender Ansprechpartner zur Verfügung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Walter Rustler, Bauingenieur und stellvertretender Geschäftsführer der Dlubal Software GmbH bedanken. Er stellte mir die wichtigsten Literaturen und Onlinerecherchen zur Verfügung, durch die ich mir einen großen Überblick verschaffen und damit auch den Kern dieser Arbeit vollständig erfassen konnte. Auch seine zahlreichen Beiträge über BIM in der Tragwerksplanung kamen mir bei diesem Thema zu Gute.

Ein besonderer Dank geht auch an die Mitarbeiter des Ingenieurbüros Lammel, Lerch & Partner, bei dem ich als Werkstudent im 8. Semester ein halbes Jahr viel Wissen rund um das Thema BIM aufbauen konnte. Vor allem die praktische Nähe zu vielen Bauprojekten ermöglichte mir einen exzellenten Einblick über die Zusammenarbeit aller Fachdisziplinen und deren Herausforderungen.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinem Vater Georg Dlubal bedanken. Er stand mir jederzeit als Mentor und Ratgeber unterstützend zur Seite. Gleichzeitig bedanke ich mich bei ihm und bei meiner ganzen Familie für das Korrekturlesen dieser Arbeit und die ständige uneingeschränkte Unterstützung in der Erstellungsphase dieser Abschlussarbeit.

## III Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Ziel der Arbeit .....	2
1.3	Aufbau und Inhalt.....	2
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1	Begriffsbestimmung: Was ist BIM? .....	4
2.2	Funktionsweise: Wie geht BIM?.....	6
2.2.1	Projektanfang.....	6
2.2.2	Projektverlauf .....	7
2.3	Unterschied zur herkömmlichen Planung .....	8
2.3.1	Kommunikation und Daten .....	9
2.3.2	Dokumentation .....	9
2.3.3	Informationsdurchgängigkeit .....	10
2.3.4	Aufwandsverlagerung .....	10
2.4	Gründe und Motive: Warum gerade BIM? .....	11
2.5	Probleme der deutschen Bauindustrie .....	12
2.5.1	Planung und Entwurf .....	12
2.5.2	Ausführung und Herstellung.....	13
2.5.3	Betrieb und Nutzung .....	14
2.6	Philosophie von BIM und dessen Vorteile auf die Bauwirtschaft .....	14
2.6.1	BIM im Planungsprozess.....	15
2.6.2	BIM in der Bauausführung.....	16
2.6.3	BIM im Gebäudebetrieb .....	17
2.7	Bauwerksmodelle .....	17
2.7.1	Gesamtmodell.....	18
2.7.2	Fachmodell.....	18
2.7.2.1	Architekturmodell .....	19
2.7.2.2	Tragwerksmodell.....	20
2.7.2.3	TGA-Modell.....	21
2.7.3	Koordinationsmodell.....	22
2.8	Methoden und Ansätze in der BIM-Planung .....	23
2.8.1	little bim .....	23
2.8.2	BIG BIM.....	24
2.8.3	Closed BIM.....	24

2.8.4	Open BIM.....	25
2.8.5	Kombination der Technologiestufen.....	27
<b>3</b>	<b>Aktueller Stand von BIM .....</b>	<b>28</b>
3.1	BIM im Ausland.....	28
3.2	BIM in Deutschland.....	29
3.2.1	Entwicklung von Konzepten und Richtlinien.....	29
3.2.2	Nutzung in Deutschland .....	30
3.2.3	Momentane Schwierigkeiten und Hindernisse .....	33
3.2.4	Herausforderungen und Anforderungen.....	36
<b>4</b>	<b>BIM und Tragwerksplanung.....</b>	<b>39</b>
4.1	Technologische Grundlagen .....	39
4.1.1	3D-Modellierung.....	39
4.1.2	Physikalisches Strukturmodell und idealisiertes Analysemodell.....	41
4.1.3	FEM – Finite Elemente Methode.....	42
4.2	Planungsablauf und Workflow in der statischen Berechnung von Bauwerken.....	43
4.2.1	Vorplanung und Entwurfsplanung .....	44
4.2.1.1	Herausforderungen .....	45
4.2.1.2	Chancen und Möglichkeiten .....	48
4.2.2	Genehmigungsplanung .....	49
4.2.2.1	Herausforderungen .....	49
4.2.2.2	Chancen und Möglichkeiten .....	52
4.2.3	Ausführungsplanung .....	53
4.2.3.1	Herausforderungen .....	53
4.2.3.2	Chancen und Möglichkeiten .....	54
4.2.4	Zusammenfassung.....	55
<b>5</b>	<b>Austauschszzenarien.....</b>	<b>56</b>
5.1	Direkte Schnittstellen .....	56
5.2	Offene und indirekte Schnittstellen .....	56
5.2.1	IFC-Schnittstelle.....	57
5.2.1.1	Struktur und Aufbau .....	57
5.2.1.2	Aktuelle Entwicklungen .....	58
5.2.1.3	Coordination View und Structural Analysis View.....	59
5.2.2	SDNF – Format .....	62
5.2.3	DSTV – Produktschnittstelle Stahlbau .....	62

5.3	Weitere Schnittstellen .....	62
5.3.1	Excel .....	62
5.3.2	DXF .....	62
<b>6</b>	<b>Szenario – Workflow zwischen Architekt und Statiker .....</b>	<b>64</b>
6.1	Verwendete Programme .....	64
6.1.1	CAD-Programme.....	64
6.1.1.1	Allplan .....	64
6.1.1.2	Revit.....	65
6.1.2	Statikprogramme .....	66
6.1.2.1	RFEM.....	66
6.1.2.2	SOFiSTiK – Programme .....	66
6.2	Beispielprojekt 1 – Herkömmlicher Datenaustausch mittels DXF-Dateien.....	67
6.2.1	Allplan zu RFEM .....	69
6.2.2	Allplan zu SOFiSTiK.....	73
6.3	Beispielprojekt 2 – Datenaustausch mittels IFC-Schnittstelle .....	74
6.3.1	Allplan zu RFEM .....	74
6.3.2	Revit zu RFEM .....	79
6.4	Beispielprojekt 3 – Datenaustausch mittels direkter und nativer Schnittstelle .....	82
6.4.1	Revit zu RFEM .....	82
6.4.2	Revit zu SOFiSTiK .....	86
6.5	Empfehlungen für einen erfolgreichen Datenaustausch .....	89
<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>

## IV **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 2.1	Durchgängige Nutzung eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus .....	5
Abb. 2.2	Überblick eines Projektabwicklungsplanes .....	6
Abb. 2.3	Grafische Darstellung der verschiedenen LoDs einer Stahlstütze und deren Anschluss .....	7
Abb. 2.4	Beispielhafte Koordination .....	8
Abb. 2.5	Traditioneller Informationsaustausch vs. BIM-basierten Projektablauf .....	9
Abb. 2.6	Unterschied der Informationsbasis auf traditionelle und BIM-basierte Arbeitsweise .....	10
Abb. 2.7	Aufwandsverlagerung und Einfluss auf Kostenentwicklung .....	11
Abb. 2.8	Informationsverluste durch Brüche im Informationsfluss während eines Bauwerkvorhabens .....	12
Abb. 2.9	Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell .....	18
Abb. 2.10	Architekturmodell: Haus des Lernens in Essen .....	20
Abb. 2.11	Tragwerksmodelle .....	21
Abb. 2.12	TGA-Modelle: Lüftungs- und Sanitärplanung .....	21
Abb. 2.13	Al Ain Hospital. Nacheinander aufgefächerte Fachmodelle der Gewerke Architektur, Tragwerk, TGA (v. l. n. r.) ergeben ein Gesamtmodell .....	22
Abb. 2.14	Bildung eines Koordinationsmodells .....	22
Abb. 2.15	Vergleich und Unterschiede der BIM-Methoden .....	26
Abb. 2.16	Unterscheidung der BIM-Methoden anhand von Durchgängigkeit und Offenheit .....	27
Abb. 3.1	Zeitliche Übersicht zu den BIM-Richtlinien und Leitfäden in ausgewählten Ländern .....	29
Abb. 3.2	Nutzungsgrad der BIM-Methode in Projekten .....	31
Abb. 3.3	Gründe für die Nutzung von BIM .....	32
Abb. 3.4	Optimierte Arbeitsprozesse dank BIM .....	32

Abb. 3.5	Hindernisse bei der Einführung von BIM .....	34
Abb. 3.6	Faktoren für eine effektive BIM-Planung.....	36
Abb. 4.1	Explizites Verfahren: Boundary Representation (BREP) .....	39
Abb. 4.2	Implizites Verfahren: Constructive Solid Geometry (CSG) .....	40
Abb. 4.3	Physikalisches Volumenmodell (links) und statisches Analysemodell (rechts) .....	41
Abb. 4.4	Statisches FEM-Modell in RFEM von Dlubal Software .....	43
Abb. 4.5	BIM-Workflow in der Tragwerksplanung .....	43
Abb. 4.6	Systemlinien von Wänden und Decken sowie deren Idealisierung.....	45
Abb. 4.7	Unterschiede im BIM-Modell und Statikmodell .....	46
Abb. 4.8	Beispiel für eine digitale BIM-gestützte Planung: Kindergarten in Schwoich, Österreich (© AGA-Bau).....	47
Abb. 4.9	Statische Berechnungen an Teil- und Gesamtsystemen .....	51
Abb. 4.10	Gegenüberstellung erforderliche und eingelegte Bewehrung in Revit .....	54
Abb. 5.1	IFC-Struktur einer Wand .....	58
Abb. 5.2	Auswahl von IFC-Elementen in der Tragwerksplanung .....	59
Abb. 5.3	Verwendete Elemente des Structural Analysis View (2x3) .....	60
Abb. 5.4	Darstellung eines 3D-Volumensmodells und Gegenüberstellung der Sichten/Views einer IFC-Datei .....	61
Abb. 6.1	Gebäudeansicht.....	67
Abb. 6.2	Grundriss: Kellergeschoss .....	68
Abb. 6.3	Grundriss: Regelgeschoss.....	68
Abb. 6.4	Gebäudelängsschnitt .....	69
Abb. 6.5	Auswahl der erforderlichen Teilbilder.....	69
Abb. 6.6	Erstellung der DXF-Datei .....	70
Abb. 6.7	Auswahl der Importeinstellungen: DXF-Format – Modell.....	70
Abb. 6.8	Importierte DXF-Datei mit bereits erstellten Linien in RFEM.....	71



Abb. 6.9	Import einer Hintergrundfolie als alternative Methode .....	71
Abb. 6.10	Manuell nachbearbeitetes und idealisiertes System mit bereits erstellter Decke als Flächenelement.....	72
Abb. 6.11	Fertig erstelltes statisches Gesamtmodell in RFEM .....	72
Abb. 6.12	Über die importierte DXF-Folie müssen noch Strukturelemente hinzugefügt werden .....	73
Abb. 6.13	Bauwerksstruktur und Ebenenmanager.....	74
Abb. 6.14	Modifizierung der Attribute der Wand .....	75
Abb. 6.15	Vorgehensweise des IFC2x3-Exports.....	75
Abb. 6.16	RFEM – Import-Hinweis: Decken, Wände und Stützen werden jedoch unterstützt.....	76
Abb. 6.17	Analytisches Modell in RFEM .....	76
Abb. 6.18	Materialeigenschaften der Decken und Wände nach dem Import .....	77
Abb. 6.19	Materialänderung mithilfe der Konvertierungstabelle und manuelle Änderung .....	77
Abb. 6.20	Aus Volumenelementen werden Dlubal-Objekte .....	78
Abb. 6.21	3D-Modell nur mit tragenden Bauteilen in Revit.....	79
Abb. 6.22	Angelegte Ebenenstruktur in Revit .....	79
Abb. 6.23	Erstellung tragender Bauteile im Ingenieurbaumodul .....	80
Abb. 6.24	Der Stütze wird die Betongüte C25/30 zugewiesen.....	80
Abb. 6.25	Vorgehensweise bei der Erstellung der IFC-Datei .....	80
Abb. 6.26	Hinweismeldung: Stützen wurden nicht übernommen .....	81
Abb. 6.27	Berechnungsmodell in Revit .....	82
Abb. 6.28	Einstellungsmöglichkeiten beim Export .....	83
Abb. 6.29	Fehlerfreie Modellüberprüfung und Übertragung der Materialien und Querschnitte .....	83
Abb. 6.30	Importiertes Statikmodell in RFEM .....	84
Abb. 6.31	Export der Bewehrungsmengen aus RFEM nach Revit.....	85

Abb. 6.32 Berechnungsmodell mit Belastungen zweier Lastfälle .....	86
Abb. 6.33 Zu treffende Maßnahmen und Vorgänge für den Export nach SOFiSTiK	87
Abb. 6.34 3D-FEM-Modell (links) und berechnetes FEM-Modell (rechts) .....	87
Abb. 6.35 Automatisch generierte Bewehrung unter Berücksichtigung der erforderlichen Bewehrung.....	88
Abb. 6.36 Erzeugter Bewehrungsplan eines Stahlbetonträgers mit Ausklinkung .....	88

## V Abkürzungsverzeichnis

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Abkürzungen alphabetisch aufgelistet, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden und daher die Fachsprache des Themas BIM bilden. Bei erstmaliger Verwendung im Text werden sie ebenfalls komplett ausgeschrieben und markiert.

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Bemerkung</b>
API	<b>A</b> pplication <b>P</b> rogramming <b>I</b> nterface	Anwendungsprogrammierschnittstelle
BCF	<b>B</b> IM <b>C</b> ollaboration <b>F</b> ormat	Offenes Datenformat
BIM	<b>B</b> uilding <b>I</b> nformation <b>M</b> odeling	
BREP	<b>B</b> oundary <b>R</b> epresentation	Darstellungsform von Flächen- und Volumenmodellen
CAD	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>D</b> esign	
CSG	<b>C</b> onstructive <b>S</b> olid <b>G</b> eometry	Technik zum Modellieren von Körpern
DIN	<b>D</b> eutsches <b>I</b> nstitut für <b>N</b> ormung	
EDV	<b>E</b> lektronische <b>D</b> aten <b>v</b> erarbeitung	
FEM	<b>F</b> inite <b>E</b> lemente <b>M</b> ethode	
FM	<b>F</b> acility <b>M</b> anagement	
HLS	<b>H</b> eizung <b>L</b> üftung <b>S</b> anitär	
HOAI	<b>H</b> onorarordnung für <b>A</b> rchitekten und <b>I</b> ngenieure	
IFC	<b>I</b> ndustry <b>F</b> oundation <b>C</b> lasses	Offenes Datenmodell
LoD	<b>L</b> evel <b>o</b> f <b>D</b> evelopment	Fertigstellungsgrad eines Bauwerksmodells
MVD	<b>M</b> odel <b>V</b> iew <b>D</b> efinition	Definition der Modellsicht
TGA	<b>T</b> echnische <b>G</b> ebäude <b>a</b> usrüstung	

## VI Glossar

### **Bauwerksmodell (BIM-Modell)**

Digitales Modell für die Strukturierung aller für den Lebenszyklus von Gebäuden relevanten Daten. Enthält geometrische und funktionale Informationen eines Bauwerks sowie Eigenschaften zu allen relevanten Modellelementen, wie z.B. Bauteile, Baugruppen oder Räume, und deren Beziehungen untereinander.

### **BCF (BIM-Modell)**

Ein offenes Standardformat, das offiziell von buildingSMART empfohlen wird. Eignet sich für den Austausch von Koordinationsnachrichten sowie zur Identifikation von Überschneidungen (z. B. Kollisionen, Modellierungs- und andere Fehler).

### **BIG BIM**

Basiert auf die Kommunikation und Kollaboration zwischen allen Projektbeteiligten und ist somit eine durchgängige und interdisziplinäre Anwendung der BIM-Methode.

### **buildingSMART e.V.**

Unabhängige Organisation, die offene Schnittstellen fördert und damit die open-BIM Methode in Deutschland, Österreich und der Schweiz umsetzt. Sie hat es sich zum Ziel gesetzt, die Projektabwicklung im Bauwesen mittels effizienter Methoden integrierter Informationsverarbeitung durchgängiger und effektiver zu gestalten.

### **Closed BIM**

Alle Planer arbeiten mit der gleichen Softwarelösung an einem Bauprojekt.

### **Fachmodell**

Ist ein disziplin- bzw. gewerkespezifisches Modell einzelner Beteiligter an einem Bauwerk.

### **Gesamtmodell**

Beschreibt ein Bauwerksmodell, das durch die Zusammenstellung aller relevanten Fachmodelle entsteht.

### **IFC**

Ist ein herstellerunabhängiges, offenes Datenmodell, welches den Austausch von Gebäudedaten unterstützt. Das Austauschformat wird von dem Verein buildingSMART zum BIM-Datenaustausch definiert.

### **Interoperabilität**

Fähigkeit, Daten zwischen Anwendungen (einschließlich BIM-Applikationen) auszutauschen, um einen verlustfreien Datenaustausch zwischen den Programmen verschiedener Hersteller zu ermöglichen.

### **Kollisionsprüfung (Clash Detection)**

Ist ein Verfahren, bei dem festgestellt wird, ob unterschiedliche Fachmodelle miteinander kollidieren oder anderweitig Kollisionen auftreten können. Dabei werden räumliche Überschneidungen von Modellelementen auf Plausibilität überprüft.

### **Koordinationsmodell**

Ist ein Bauwerksmodell, dessen Ziel die Überprüfung von Planungen der jeweiligen Fachdisziplinen auf Plausibilität, Schlüssigkeit und Vollständigkeit ist. Es entsteht durch eine temporäre Zusammenstellung bestimmter Fachmodelle.

### **little BIM**

Beschränkt sich auf die Anwendung einer Fachdisziplin, die auch nur eine Softwarelösung eines Herstellers benutzt. Wird auch als Insellösung bezeichnet.

### **LoD (Fertigstellungsgrad)**

Beschreibt einen Fertigstellungs- oder Reifegrad eines Bauwerksmodells. Wird durch die jeweilige Leistungsphase und Fachdisziplin bestimmt und beeinflusst.

**Modellelement (Modellobjekt)**

Damit werden einzelne Bauteile in einem Bauwerksmodell wie Wände, Stützen und Fenster bezeichnet. Ihnen können Eigenschaften wie Materialien und Farben zugewiesen werden.

**Open BIM**

Hier werden offene und herstellerneutrale Schnittstellen verwendet, die eine durchgängige und gemeinschaftliche Planung, Umsetzung und den Betrieb von Gebäuden ermöglicht.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die Baubranche ist im Zeitalter der Digitalisierung angelangt. Was damals mit der Erfindung des Computers durch den Bauingenieur Konrad Zuse angefangen hatte, entwickelte sich zu vielen Meilensteinen im Bauwesen. Während früher noch Zeichenbretter mit Hand und Tusche verwendet wurden, begann in den 1990er Jahren langsam der Umstieg auf 2D-CAD Programme. Dank der immer leistungsfähigeren Computer wurde die Arbeit des Zeichenbretts, bei denen Veränderungen erheblichen Mehraufwand bedeuteten, 1:1 auf den Computer übertragen. Mittlerweile ist die 2D Planung in vielen Architektur- und Ingenieurbüros zum Standard geworden. Jedoch bleiben das Leistungsvermögen und die Möglichkeiten einer computergestützten Planerstellung weitgehend ungenutzt. Denn die Intelligenz einer CAD-Linie bietet nur wenige Informationen und repräsentiert daher kein richtiges Bauteil, wie eine Wand, eine Stütze oder ein Fenster. Viel mehr bildet sie eine Kante eines Bauteils ab. Damit geht wertvolles Potential verloren, zumal der Informationsaustausch von Plänen verschiedener Fachplaner bei Änderungen meistens mittels schriftlichen Markierungen erkenntlich gemacht werden sowie durch die fehlende Visualisierung Kollisionsprüfungen nicht realisierbar sind. [1]

Um die Verbesserung der Kommunikation zwischen Planern und dem eigenen Team ebenso wie die Steigerung der Effektivität von Bauplänen voran zu bringen, greifen in den vergangenen Jahren immer mehr Planungsbüros auf die Verwendung von 3D-CAD-Software zurück. Der Umstieg auf eine 3D-Planung ist in Wirklichkeit schon der Beginn eines BIM-Modells. [2]

Der Umstieg der Architekten, Ingenieure und Konstrukteure vom Zeichenbrett zum CAD war für den Großteil zwar eine Umstellung, allerdings war es nicht mehr als eine technische Weiterentwicklung, bei denen die eigentlichen Planungsprozesse nahezu gleich blieben. Lediglich die Arbeitsweise mittels Werkzeuge änderte sich. Anstatt mit Lineal und Bleistift auf dem Zeichenbrett wird nun am Computer mithilfe geeigneter CAD-Software gezeichnet. [1]

Eine viel einschneidendere Veränderung in der Planungskultur des Bauwesens bildet die Arbeitsmethode „Building Information Modeling“, kurz BIM, bei der ein digitales

Modell eines Bauwerks mit großer Informationstiefe erschaffen wird. Diese neue Arbeitsweise beschreibt nicht nur die Geometrie in 3D, sondern legt auch den Fokus auf partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Gewerke eines bestimmten Projektes. Dadurch wird ein großes Augenmerk auf gemeinschaftliches und kommunikatives Denken und Handeln gelegt, was die bisherige Planungskultur weitreichend verändern wird. Neue Arbeitsweisen und Prozesse müssen eingeführt und eingearbeitet werden, um die neue Strategie des BIM erfolgreich umzusetzen. [3]

Größtenteils sind es Architekten, die durch das BIM neue Möglichkeiten und Chancen zur verbesserten Effizienz eines erfolgreichen Bauprojektes nutzen wollen. Aber auch die Fachdisziplin der Tragwerksplanung muss den Einfluss der neuen Arbeitsweise auf ihre baustatischen Methoden bestmöglich umsetzen können. Diese Bachelorarbeit knüpft genau an dieser Stelle an, indem sie die Chancen und Herausforderungen eines Tragwerksplaners in Verbindung mit der Arbeitsweise BIM herauskristallisiert und behandelt.

### 1.2 Ziel der Arbeit

In vielen Ingenieurbüros im Bereich der Tragwerksplanung hat sich die Planungsmethode BIM noch nicht wirklich durchgesetzt. Dies hat mehrere Gründe, die in dieser Arbeit an anderer Stelle tiefergehend erläutert werden. Deshalb ist es auch das Ziel dieser Arbeit die Chancen, Vorteile und Möglichkeiten von BIM in der baustatischen Berechnung von Gebäuden zu erarbeiten und exemplarisch darzustellen. Dabei werden die für den Statiker essentiellen Informationen einer Tragwerksberechnung aufgezeigt und gleichsam der Datenaustausch von CAD zu Statikprogrammen ausführlich erklärt. Darüber hinaus wird aber auch auf die Herausforderungen, Hindernisse und Schwierigkeiten der Umsetzung von BIM eingegangen. Die Ableitung des statischen Systems eines BIM-Modells als eines der Problempunkte sowie die Anwendungsgrenzen der Arbeitsweise werden hierbei genauer untersucht.

### 1.3 Aufbau und Inhalt

**Abschnitt 2** dieser Arbeit befasst sich mit den theoretischen Grundlagen des Building Information Modeling. Zunächst wird der Begriff BIM definiert und mit der Erklärung der Funktionsweise dieser Arbeitsmethode fortgefahren. Nebenbei wird auch der Unterschied zur herkömmlichen Planung dargestellt, wobei insbesondere auf die Gründe,



Vorteile und Potentiale eingegangen wird. Des Weiteren muss sich somit auch mit den neuen Herausforderungen und Anforderungen auseinandergesetzt werden, die für die Planungsbeteiligten bei der Einführung des BIM von Bauprojekten eine wichtige Rolle spielt. Abschließend wird eine Übersicht der unterschiedlichen Bauwerksmodelle aufgestellt sowie die Arbeitsmethoden little BIM und BIG BIM gegenübergestellt.

Über den aktuellen Stand der Planungsmethode BIM in Deutschland und Ausland beschäftigt sich **Abschnitt 3**. Hier wird der Frage nachgegangen, aus welchen Gründen BIM auf nationaler Ebene nicht wirklich vorwärts kommt und internationale Vorzeigeländer gegenüber Deutschland schon mehr als einen Schritt voraus sind.

**Abschnitt 4** handelt von der Tragwerksplanung eines BIM-Prozesses. Dabei werden einerseits die technischen Hintergründe erläutert, andererseits werden die aus der BIM-Methode entstehende Herausforderungen, Chancen und Möglichkeiten gegenübergestellt.

In **Abschnitt 5** werden die wichtigsten Austauschscenarien zwischen Statik und Architektur aufgezeigt. Dabei wird auf die IFC-Schnittstelle ein besonderes Augenmerk gelegt. Abschließend werden noch weitere Austauschformate erwähnt und erklärt.

Ein komplettes Szenario eines baupraktischen BIM-Prozesses zwischen Architekt und Tragwerksplaner beinhaltet **Abschnitt 6**. Hier wird anhand zweier unterschiedlicher CAD- und Statikprogramme ein Datenaustausch eines Bürogebäudes mittels verschiedener Schnittstellen realisiert. Darauf aufbauend werden auf die übertragenen Informationen, möglichen Funktionen und Grenzen der Software-Werkzeuge eingegangen.

**Abschnitt 7** bildet ein abschließendes Fazit.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Begriffsbestimmung: Was ist BIM?

BIM steht als Abkürzung für Building Information Modeling, was zu Deutsch Bauwerksdatenmodellierung heißt. Die Recherchen ergaben, dass die Definitionen von BIM häufig voneinander abweichen und je nach Fachplaner, Hersteller und Betreiber eines Gebäudes unterschiedliche Auffassungen dieses Themas bestehen. Dieses Kapitel beschreibt deshalb die allgemeine Erklärung dieses Begriffs.

Unter Building Information Modeling, kurz BIM, wird eine Arbeitsmethode im Bauwesen verstanden. Ihr Fokus liegt auf der gemeinsamen und zentralen Verwaltung von Bauwerks- und Projektinformationen. Die Idee zu diesem Konzept ist nicht neu. Bereits in den 1970er-Jahren wurde das Prinzip virtueller Gebäudemodelle von Charles M. Eastman in den Vereinigten Staaten erwähnt. Erstmals erschien der Begriff „Building Information Modeling“ in einem Papier von van Nederveen 1992. Einem größeren Publikum wurde es erst in einem White Paper im Jahr 2003 durch die Softwarefirma Autodesk bekannt. [4] [5]

Heute ist die Forschung zu BIM deutlich weiter und BIM bedeutet viel mehr als nur eine virtuelle Modellbeschreibung.

Allgemein wird BIM wie folgt definiert:

*„Building Information Modeling (BIM) ist eine Planungsmethode im Bauwesen, die die Erzeugung und die Verwaltung einer digitalen virtuellen Darstellung der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks beinhaltet. Die Bauwerksmodelle stellen dabei eine Informationsdatenbank rund um das Bauwerk dar, um eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus zu bieten; von der ersten Vorplanung bis zum Rückbau.“*  
(NBIMS, National BIM Standard – USA) [4]

Erstmals eine „offizielle“ Definition von BIM in Deutschland wurde mit dem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) vorgelegten „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ gegeben:

„*Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.*“ (BMVI, Stufenplan Digitales Bauen und Planen) [15]

In der heutigen Baupraxis wird die Methode BIM viel umfassender angewendet und beinhaltet nicht nur die geometrischen, physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Gebäudes, die mittels eines Modells verwaltet werden. Nebenbei beschreibt diese Arbeitsweise auch den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks durch die Nutzung eines digitalen Modells. Angefangen bei dem Entwurf und der Planung des Projektes, über die Erstellung bis hin zur Bewirtschaftung und schließlich zum Rückbau kann jeder Planer und Betreiber auf alle wertvollen Informationen zurückgreifen. [4] [5]



Abb. 2.1 Durchgängige Nutzung eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus [5]

## 2.2 Funktionsweise: Wie geht BIM?

Bei der Umsetzung eines Bauwerks mithilfe der Planungsmethode von BIM gilt es sowohl beim Beginn und der Vorbereitung als auch im Verlauf des Projektes stets strategisch und fokussiert vorzugehen.

### 2.2.1 Projektanfang

Generell kann im späteren Planungsverlauf nur von dieser Arbeitsweise profitiert werden, wenn davor ausreichend Informationen erschaffen wurden, die strukturiert aufgebaut und gut organisiert sind. Daher werden zu Beginn des Projektes alle notwendigen Informationen zusammengefasst sowie die erforderlichen Rahmenbedingungen und einheitlichen Strategien zu Vorgehensweise festgelegt. Der Auftraggeber bzw. der Bauherr spielt dabei eine besondere Rolle. Einerseits definiert er die BIM-Anforderungen und andererseits gibt er klare Vorgaben zu Zielen und Leistungsresultaten vor. [3]

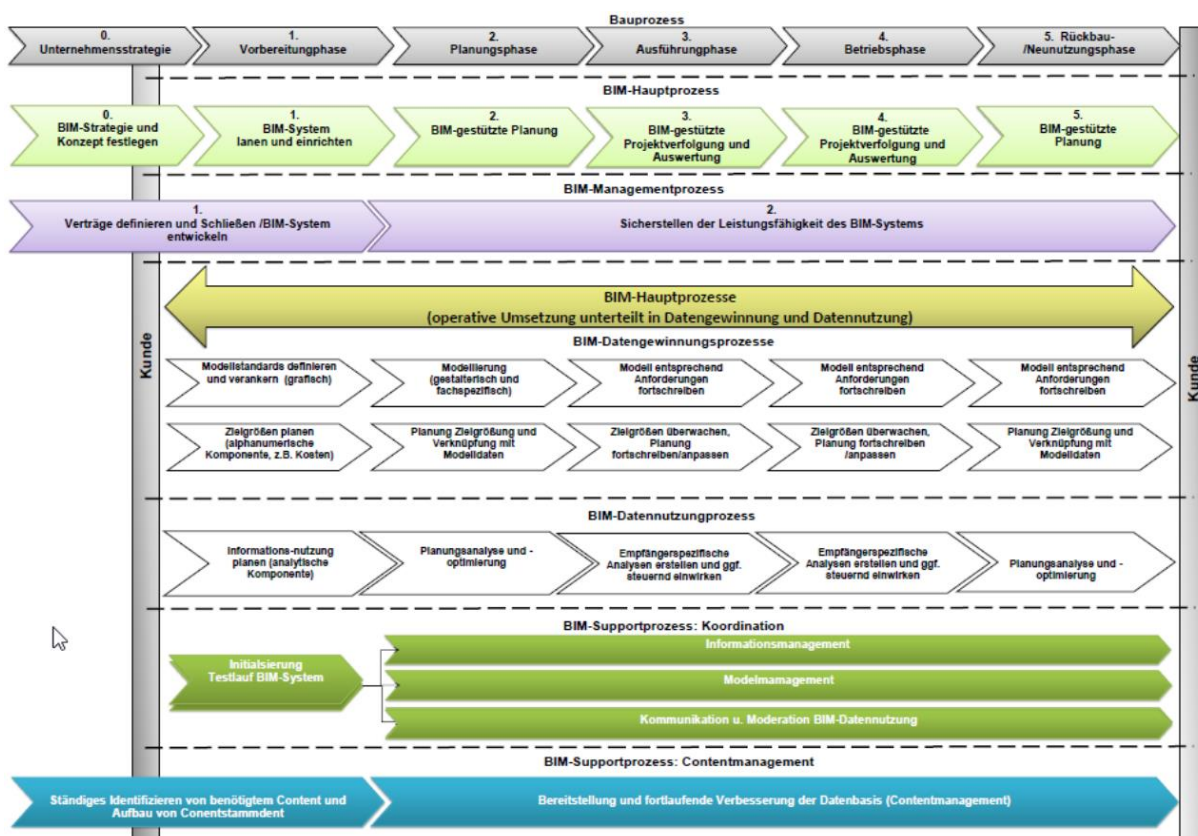


Abb. 2.2 Überblick eines Projektabwicklungsplanes [39]

## 2.2.2 Projektverlauf

Anschließend erstellt der Architekt in der Vorentwurfs- und Entwurfsphase ein dreidimensionales virtuelles Datenmodell bestehend aus bauwerksbezogenen Informationen. Daraus lassen sich weitere Pläne und Dokumente generieren und erzeugen. Damit bildet dieses Gebäudemodell den Ausgangspunkt für alle Planungen, Veränderungen und Weiterentwicklungen. Das wesentliche Konzept hinter BIM bezieht sich somit viel mehr auf das Modellieren von Gebäudedaten sowie die Erstellung, Pflege und Aktualisierung des Datenmodells. [13]

Die Modellqualität des Bauwerks in der Planungsphase kann je nach Forderung in verschiedene Stufen der Genauigkeit eingeteilt werden. Über das Level of Development (LoD), welches den Reifegrad eines Bauwerksmodells beschreibt, lassen sich Bauwerksdaten ausgeben, die je nach Fachdisziplin oder Leistungsphase nur einen gewünschten Detailgrad beinhalten. Sie werden einem Modell bzw. Modellelementen zugeordnet. Angefangen von Volumenmodellen über Entwurfsmodelle bis hin zum Dokumentationsmodell können entsprechend der jeweiligen Planungsphase Bauwerksinformationen ausgegeben werden. Diese dienen wiederum dazu Mengenermittlungen, Energieberechnungen oder Kostenschätzungen durchzuführen. Somit können die Empfänger durch die sogenannten LoDs die Zuverlässigkeit und die Einschränkungen eines Modelles bewerten. In verschiedenen Ländern wurden daher Standardisierungen vorgenommen, um den jeweiligen Detaillierungs- und Definitionsgrades von Bauteilen ermöglichen zu können. So hat das American Institute of Architects (AIA) 5 Grundstufen von LoD 100 bis LoD 500 definiert. Diese reichen von der rein konzeptionellen Darstellung des Modells (LoD 100) bis zur tatsächlichen Erstellung des Bauteils auf der Baustelle (LoD 500). [3] [5]

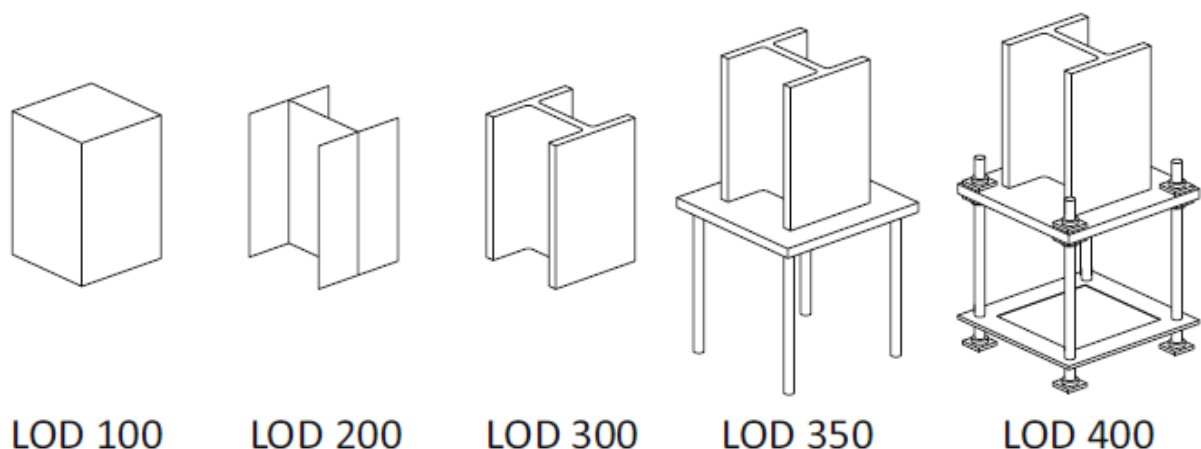


Abb. 2.3 Grafische Darstellung der verschiedenen LoDs einer Stahlstütze und deren Anschluss. LoD 500 wird hier nicht angezeigt. [5]

Über den Austausch von Gebäudemodellen mittels der IFC-Schnittstelle oder anderen Schnittstellen kann jedes Gewerk im eigenen Fachmodell arbeiten. Nach der Bearbeitung dieser Modelle durch die Fachplaner kommen über die gesamte Laufzeit des Projektes neue Objekte oder Bauteile hinzu und vorhandene Baukörper werden verändert oder um zusätzliche Daten ergänzt. Dieser Planungsprozess geschieht allerdings nicht im Gesamtmodell, sondern in den jeweiligen Fachmodellen, die die erzeugten Informationen über die IFC-Schnittstelle zurück ins Ausgangsgesamtmodell liefern.

Sobald Änderungen, Erweiterungen und Ergänzungen stattgefunden haben, sollten diese mit einer Änderungsmarkierung versehen werden. Diese dienen der Kontrolle sowie der Plausibilität und fördern die Prüfung von Kollisionen. Dabei lässt sich die Qualität der Zusammenarbeit und Koordination zwischen den einzelnen Fachdisziplinen sicherstellen.

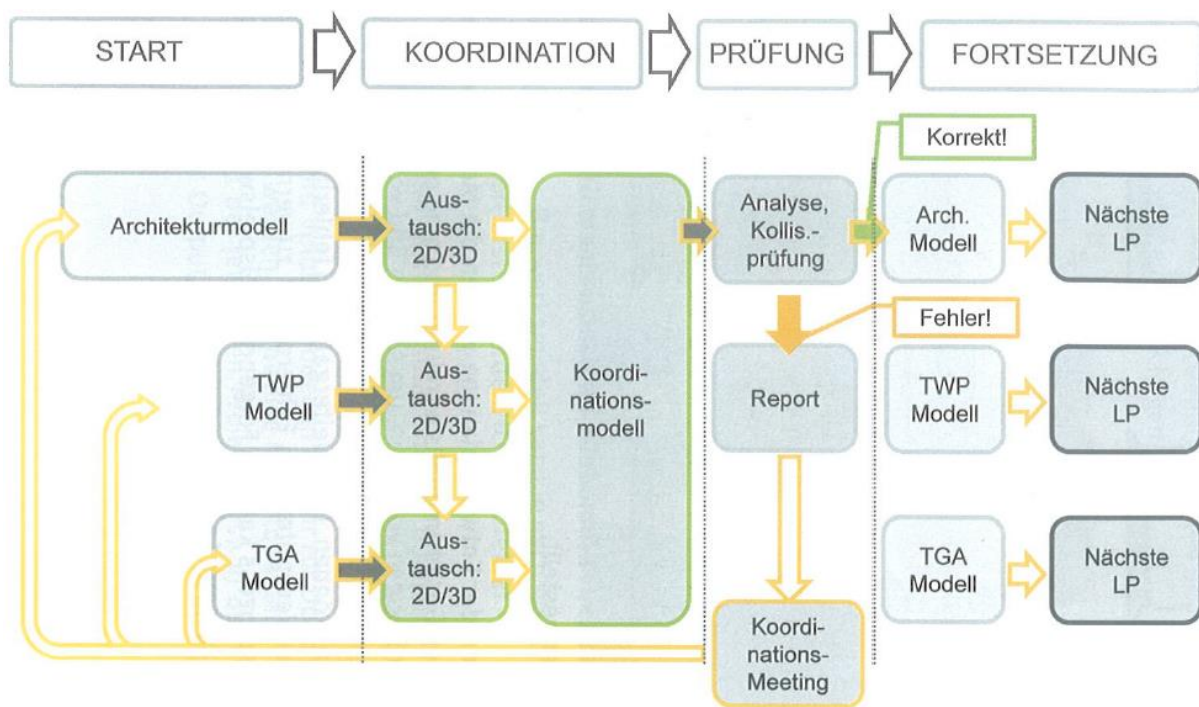


Abb. 2.4 Beispielhafte Koordination. Relevante Informationen werden erst geprüft, dann ausgebesert, anschließend wieder geprüft und dann freigegeben. [3]

### 2.3 Unterschied zur herkömmlichen Planung

Der Ansatz der BIM-Technologie verändert die bisherige konventionelle Planungskultur der verschiedenen Fachdisziplinen. Somit fordert BIM neue Arbeits- und Denkweisen und führt zur Umwandlung von Planungsprozessen. Jedem Projektbeteiligten, der die BIM-basierte Arbeitsmethode anwendet, sollten die Differenzen zwischen der alten herkömmlichen und der neuen modernen Planungsweise BIM klar sein. In der Folge werden die wesentlichen Punkte modellhaft dargestellt.

### 2.3.1 Kommunikation und Daten

Bisher geschah der Austausch von Gebäudeinformationen zwischen Projektbeteiligten nur auf direktem Wege. Baupläne wurden von einem Projektpartner zum nächsten weitergeleitet. Dadurch können beispielsweise bei der Kommunikation bezüglich der Planung Fachplaner vergessen werden, die über die Änderung eines Bauteils ins Bild gesetzt werden sollten. Folglich ist dieser Kommunikationsweg über E-Mail und Telefon nur bedingt strukturiert und geregelt.

Mithilfe von BIM werden Bauwerksdaten zentral verwaltet und ständig gepflegt, so dass auf sie stets zugegriffen werden kann. Demzufolge ist jede Information einfach vorhanden, was wiederum durch notwendige Absprachen Redundanzen und Fehler im Projekt reduzieren lässt. [3]

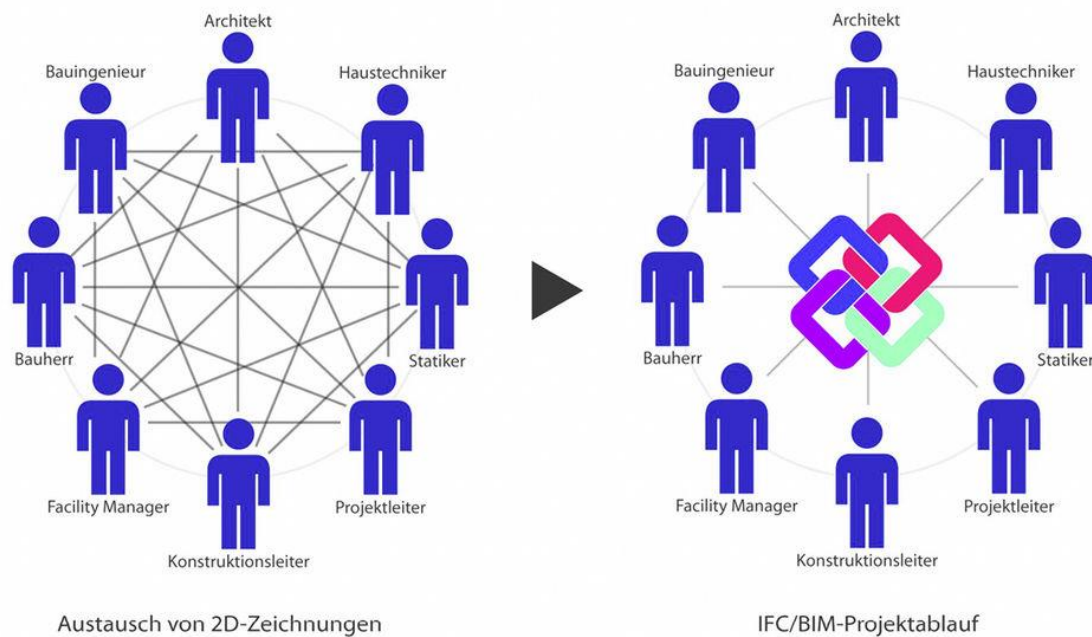


Abb. 2.5 Traditioneller Informationsaustausch vs. BIM-basierten Projekttablauf [40]

### 2.3.2 Dokumentation

In der klassischen Planungsweise ist es üblich, dass technische Zeichnungen und zweidimensionale Pläne ein dreidimensionales Gebäude darstellen. Es ist daher nichts anderes als eine abstrakte Beschreibung einer räumlichen und konstruktiven Projektidee.

Dahingegen lässt sich diese Idee mit BIM und Bauwerksmodellen zunächst dreidimensional modellieren und anschließend umfassend visualisieren. Dabei können Bauteile

spezifischen Objektinformationen zugeteilt werden, wie etwa Materialeigenschaften und Funktionsbeschreibungen. Aus diesen Modellen lassen sich Zeichnungen und Listen für die Verwendung weiterer Planungspartner ableiten, wodurch eine transparente, offene und zusammenhängende Arbeitsweise ermöglicht wird. [3]

### 2.3.3 Informationsdurchgängigkeit

Häufig werden je nach Projekt zweidimensionale Zeichnungen von einer Partei zur nächsten übermittelt. Allerdings bilden diese Pläne nur reduzierte, projektbeschreibende Darstellungen eines Bauprojekts, sodass wertvolle Informationen verloren gehen. Durch den Informationsverlust müssen diese Daten seitens der nachfolgenden Planungspartner wieder neu interpretiert und erzeugt werden. Dadurch kann es leicht zu Fehlinterpretationen und Missverständnissen kommen. Die Übergabe solcher Daten von der Planungsseite an die Bauausführung steht exemplarisch für so einen Austausch.

Durch den Ansatz BIM-orientierter Planung und der disziplinübergreifender Arbeitsweise können solche Informationsverluste reduziert werden. Planungsfehler werden frühzeitig erkannt und mittels Kollisionsanalysen können einzelne Gewerke besser untereinander abgestimmt werden. [3]

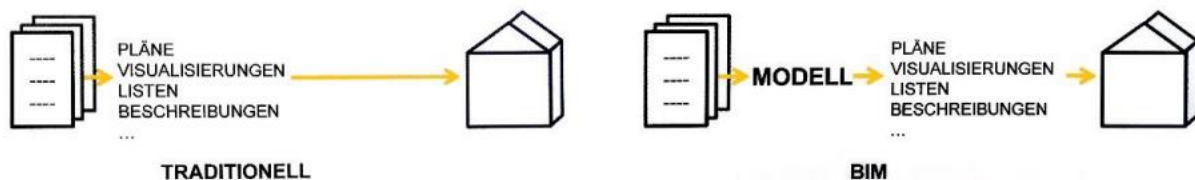


Abb. 2.6 Unterschied der Informationsbasis auf traditionelle und BIM-basierte Arbeitsweise [3]

### 2.3.4 Aufwandsverlagerung

In der konventionellen Planungsweise ist es gängig, dass der Hauptaufwand zur Ausarbeitung des Entwurfs oft erst in den späteren Planungsphasen geleistet wird. Folglich können die Arbeiten und Anwendungen verschiedener Berechnungsprogramme erst zu einem fortgeschritten Zeitpunkt getätigt werden. Jedoch sind dann die Möglichkeiten und Optionen zur Änderung des Entwurfs bereits sehr begrenzt und führen zu zusätzlichen Kosten. Zudem wird die traditionelle Planungsmethode in der Baubranche von vielen Medienbrüchen bestimmt, was beispielsweise die Neueingabe von Informationen zur Weiterverwendung darstellen kann.



Im Gegensatz dazu versucht BIM durch eine dreidimensionale Ausgestaltung des Bauwerks mehr Informationen in den frühen Phasen des Projekts darzustellen und zu verwalten. Dies geschieht durch die Erstellung eines umfassenden digitalen Gebäudemodells. Zwar führt es zu einer Aufwandsvorverlagerung von Planungsaufwendungen, ermöglicht aber bereits zu Planungsbeginn fundierte Entscheidungen zu treffen. Demnach bleiben die Aufwendungen in späteren Planungsphasen gering und nebenbei lassen sich somit Fehler sowie Missverständnisse vermeiden. Ebenfalls kann dieses Modell schon frühzeitig für Simulationen und Berechnungen herangezogen werden, sodass unterschiedliche Optionen zum Entwurf untersucht und analysiert werden können. [4] [5]

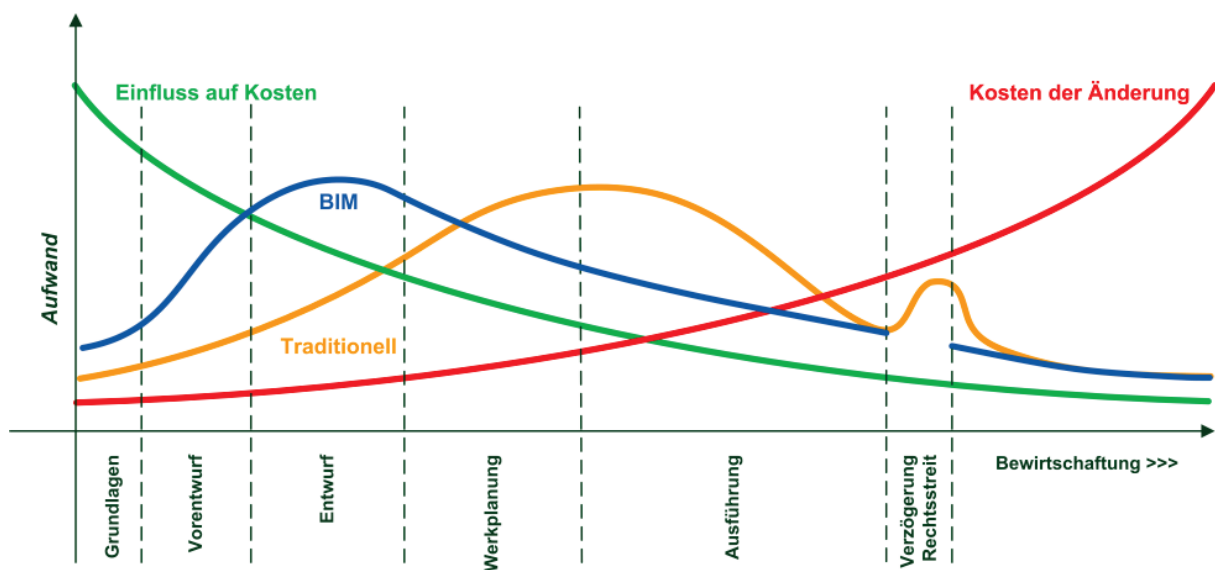


Abb. 2.7 Aufwandsverlagerung und Einfluss auf Kostenentwicklung [4]

### 2.4 Gründe und Motive: Warum gerade BIM?

Im Zeitalter der Digitalisierung konnten weite Teile der Wirtschaft eine große Steigerung an Produktivität und Effizienz verbuchen. Die digitale Transformation erfasst mittlerweile die unterschiedlichsten Industriesektoren und bewirkt eine Veränderung von Wertschöpfungsketten sowie Geschäftsmodellen. Dies gilt auch für das Bauwesen. Zwar findet eine Verwendung von digitalen Werkzeugen bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb von Bauwerken statt, verglichen mit anderen Branchen bleibt aber die Weiternutzung von erstellten digitalen Bauwerksinformationen weit zurück. Meistens werden die Informationen für Bauvorhaben auf gedruckte Baupläne oder nur eingeschränkt weiterverwendbare Digitalformate übermittelt, sodass wertvolle Informationen häufig verloren gehen.

Solche Informationsbrüche ziehen sich im kompletten Lebenszyklus eines Gebäudes durch, angefangen beim Entwurf über die Ausführung und den Betrieb bis hin zum Rückbau. Nachfolgend wird auf die allgemeinen Probleme der deutschen Bauindustrie aufmerksam gemacht und analysiert wie diese Schwierigkeiten zukünftig mittels BIM verringert werden können. [5] [7]

### 2.5 Probleme der deutschen Bauindustrie

Die Motive für die Benutzung von BIM sollen nun anhand von Problemen der deutschen Bauindustrie aufgezeigt werden. Hierbei werden Gründe ersichtlich, inwiefern BIM den Planungsprozess von Gebäuden effektiv steigern kann.

#### 2.5.1 Planung und Entwurf

Bei der Planung und dem Entwurf von Gebäuden spielt die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachplaner eine große Rolle. Sie sind für das Gelingen eines Bauvorhabens verantwortlich und daher ist eine kontinuierliche Abstimmung und ein intensiver Informationsaustausch unter ihnen erforderlich. Jedoch findet in der Realität häufig eine mangelhafte Kommunikation zwischen Bauherr, Entwurfsplaner, Fachplaner, Bauunternehmer und Betreiber statt. Der Grund für den schlechten Informationsaustausch liegt darin, dass die meisten Gebäudeinformationen auf dem Austausch von technischen Zeichnungen in Form von Grundrissen, Schnitten und Detailzeichnungen basieren. Diese Art der Modellerstellung vertritt dabei die Philosophie der alten Arbeitsweise mit dem Zeichenbrett, weshalb viele heutige Bauprojekte mit ständigem Informationsverlust geprägt sind. [5] [8]

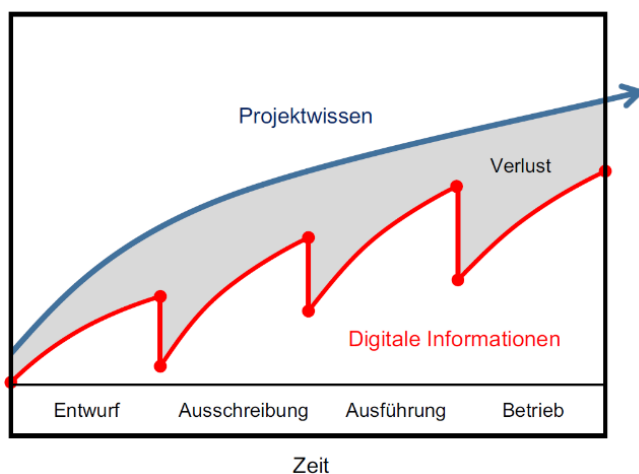


Abb. 2.8 Informationsverluste durch Brüche im Informationsfluss während eines Bauwerkvorhabens [5]

Was sagt aber die Intelligenz einer CAD-Linie aus? Nur anhand der Stricharten und Strichstärken können sich Architekten, Planer und Bauherren die darin enthaltenen Informationen erschließen. Der Computer kann diese Art der Zeichnung nicht interpretieren, sodass das Potenzial der automatischen Informationstechnologie weitestgehend ungenutzt bleibt. Insofern liegt die Aufgabe darin, dass diese technischen Zeichnungen immer wieder manuell geprüft und bei Fehlern dementsprechend angepasst werden müssen. Angesichts der Tatsache, dass unterschiedliche Pläne verschiedener Fachplaner eine massive Fehlerquelle für Gebäudeinformationen hervorrufen können, tritt ebenfalls ein Verlust von Bauwerksdaten bei Änderungen auf, die häufig erst während der Bauausführung entdeckt werden. [5]

Bei Bauprojekten mit mehreren beteiligten Fachplanern stellen hauptsächlich die Schnittstellen mangels benötigter Informationen eine große Einschränkung dar. Bereits zur Verfügung gestellte Gebäudeinformationen auf Zeichnungen müssen für die Fachdisziplin wie der Tragwerksplanung und Gebäudetechnik in den entsprechenden Programmwerkzeugen erneut eingegeben werden. Häufig sind genau diese Ungenauigkeiten beim Datenaustausch eine der größten Probleme in der Baubranche. In einem kompletten Bauprojekt existieren viele Schnittstellen, Fachplaner arbeiten an ihren eigenen Modellen und so kann es zur problematischen Weitergabe der Informationen kommen. Denn die Fehleranfälligkeit wächst mit der zunehmenden Anzahl an Projektbeteiligten, die jeweils unterschiedliche Schnittstellen und Planungsmethoden bei der Verrichtung ihrer Arbeit nutzen. Dies erhöht die Gefahren für Fehlinformationen, sodass mangelhafter Datenaustausch zu großen finanziellen Verlusten führen kann. [5]

### **2.5.2 Ausführung und Herstellung**

Aufgrund des hohen Termindrucks in der Baubranche kommt es immer wieder vor, dass fehlende oder falsche Entwurfsinformationen sowie mangelhafte Mengenangaben erstellt werden. Darunter leidet nicht nur die Qualität eines Bauwerks bei der Bauausführung, auch hat dies negative Konsequenzen auf die Kosten- und Terminplanung der Baubeteiligten. Zusätzliche Umplanungen, die nicht selten nach Baubeginn aus unterschiedlichen Gründen veranlasst werden, müssen zudem mit der genehmigten Entwurfsplanung verglichen werden. Dabei wird ein großes Augenmerk auf die Zeit- und Kostenwirkungen gelegt, sodass ab einem gewissen Zeitpunkt überlegt werden sollte, ob eine Umplanung noch kosten- und zeittechnisch sinnvoll ist. Daneben wird durch ungenügende Informationen auf der Baustelle seitens der Planung auch die

Kontrolle von Bauteilen und Produkten beeinträchtigt, was schließlich zu häufigen Unterbrechungen und Baupausen führen kann. [8]

### 2.5.3 Betrieb und Nutzung

Unzureichende Bestandspläne sowie eine mangelhafte Projektdokumentation sind Probleme, die hauptsächlich den Betreiber und Bauherrn betreffen. Bei der Übergabe von Bauplänen an den Bauherrn nach der Fertigstellung des Gebäudes müssen diese die notwendigen Informationen für die brauchbare Verwendung der Betreiber des Bauwerks aufbereiten und in das Facility-Management-System überführen. [5]

## 2.6 Philosophie von BIM und dessen Vorteile auf die Bauwirtschaft

Die Idee der BIM-orientierten Arbeitsweise verfolgt einen modernen und effektiven Ansatz. Sie ermöglicht bei der Planung, Ausführung und dem Betrieb eines Bauprojektes mittels Computerunterstützung viel tiefgreifender Möglichkeiten zum Einsehen von wichtigen Bauwerksdaten, die nun nicht mehr in Zeichnungen abgelegt werden, sondern in Form eines umfassenden Bauwerksmodells abgerufen werden können. Der Planungsprozess erfolgt hiermit auf Basis objektorientierter Bauwerksmodellierung und setzt die Beteiligung aller für das Bauwerk erforderlichen Fachdisziplinen voraus. [5] [6]

Durch die richtige Anwendung der BIM-Arbeitsweise wird im Bauwesen ein neues Optimierungsniveau erreicht. Die Umstellung von 2D-Zeichnungen auf 3D-Modelle ist angesichts der greifbaren Vorteile, die sich aus den optimierten Arbeitsabläufen ergeben, in den Bereichen Architektur und Ingenieurwesen unaufhaltsam auf dem Vormarsch. Der Ansatz eines digitalen Gebäudemodells mit allen leicht zugänglichen Bauwerksinformationen bewirkt bei allen Planungsbeteiligten eine enorme Effizienzsteigerung und zeigt bei koordinierter Projektabwicklung seine wahren Stärken. Nachfolgend werden die wichtigsten Vorteile in verschiedenen Phasen eines Projektes dargestellt sowie auf die Chancen und Möglichkeiten der jeweiligen am Bauprojekt beteiligten Unternehmen eingegangen.

### 2.6.1 BIM im Planungsprozess

Die Anwendung der BIM-Methode ermöglicht für den Planungsprozess eine große Steigerung an Effizienz und Qualität von Bauwerken. Mithilfe eines dreidimensionalen digitalen Gebäudemodells können alle notwendigen Zeichnungen abgeleitet werden, die stets auf dem aktuellsten Stand gehalten werden. Dadurch ist ein einfaches Abändern des Gebäudemodells viel praktischer, und sinnvoller verglichen mit der ständigen manuellen Aktualisierung von Plänen bei Veränderungen. Folglich lassen sich Planungsfehler besser vermeiden und dank der möglichen Kollisionskontrolle zwischen den Teilmodellen verschiedener Gewerke früher erkennen. Somit können alle Projektbeteiligten von einer höheren Planungs-, Kosten- und Terminalsicherheit profitieren, sowohl bei kleinen als auch bei komplexen Bauvorhaben.

Projektinformationen werden im kompletten Projektzeitraum kontinuierlich aufgebaut, sodass Fachplaner von den bereits vorhandenen Informationen profitieren und diese so gleich weiterverarbeiten können. Die geometrische Übergabe an die jeweiligen Analyse- und Simulationsprogramme erleichtert und beschleunigt den Arbeitsprozess in der Planungsphase. Dazu gehören unter anderem statische Berechnungen sowie Wärmebedarfsberechnungen und die Brandschutzplanung. Der leichte, transparente und offene Zugang zu Bauwerksinformationen verschafft allen Planungspartnern einen lückenlosen Informationsaustausch und versucht die Verluste von Daten ausgelöst durch verschiedene Schnittstellen der benutzten Programme auf ein Minimum zu reduzieren. Des Weiteren ist ein ständiger Zugriff auf benötigte BIM-Daten während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes möglich.

Insgesamt fördert die Arbeitsweise des BIM eine engere und verbesserte Kommunikation unter den Projektbeteiligten aufgrund eines gemeinsamen Koordinationsmodells, auf das jeder zugreifen kann. Dies stärkt die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Fachberufen und führt zu einer Qualitätssteigerung in der Planung von Bauwerken. [4] [5]

Im angrenzenden Abschnitt werden die Vorteile stichpunktartig aus der Sicht der jeweiligen Planungsbeteiligten im Umgang mit BIM aufgezählt.

### **Auftraggeber – Bauherr und Auftraggeber**

- Einfacher und offener Zugang zu Bauwerksinformationen
- Bessere Kommunikation und Koordination in Planung, Ausführung und Bewirtschaftung mithilfe eines Gebäudemodells
- Zuverlässigere Kosten- und Terminplanungen
- Verbesserung der Bauausführungsqualität
- Höhere Planungssicherheit
- Räumliche Visualisierungen

### **Planer – Architekt und Fachplaner**

- Verbesserte Gewerke übergreifende Kommunikation, Koordination und Zusammenarbeit
- Gemeinsame Nutzung eines dreidimensionalen Gebäudemodells mit allen notwendigen Informationen eines Bauwerks
- Verbesserter Datenaustausch
- Beschleunigung der Arbeitsprozesse

### **2.6.2 BIM in der Bauausführung**

Für die ausführenden Firmen ergeben sich durch die BIM-Arbeitsweise wesentliche Vorteile in der Erstellung von Bauwerken. Dank des digitalen Gebäudemodells können die Baufirmen eine genauere Aufwandsermittlung im Rahmen der Ausschreibung durchführen, wodurch präzisere Abrechnungen von Bauleistungen möglich sind.

Mithilfe eines 4D-BIM oder 5D-BIM, das durch die Verknüpfung von Zeit, Ressourceneinsatz und Kosten mit der Geometrie des Bauwerks erzeugt wird, kann eine Bauablaufsimulation durchgeführt werden. Somit können im Vorfeld Bauablauffehler und Kollisionen besser erkannt und die Baustellenlogistik besser koordiniert werden.

Durch den Einsatz moderner Arbeitsmittel können Bauunternehmen auch auf der Baustelle auf Pläne und Visualisierungen zugreifen. So können Mitarbeiter vor Ort digitale Projektdaten auf ihren Smartphones und Tablets anzeigen lassen, was wiederum den Organisationsablauf verbessert und ein sichereres Zeit- und Kostenmanagement gewährleistet. [4] [5]

### **Bauunternehmer**

- Fehler- und Kollisionsvermeidung – erst digital, dann real Bauen
- Optimierung der Bauprozesse durch Bauablaufsimulationen
- Genauere Mengen- und Aufwandsermittlung
- Mobile und digitale Datenerfassung während der Bauzeit
- Einfacher und offener Zugang zu Bauwerksinformationen
- Bessere Kommunikation und Koordination in Planung, Ausführung und Bewirtschaftung mithilfe eines Gebäudemodells

### **2.6.3 BIM im Gebäudebetrieb**

In Bezug auf die Nutzung und Bewirtschaftung eines Gebäudes werden mittels der BIM-Methode wertvolle und nützliche Informationen an das Facility Management weitergegeben. Es können hiermit Informationen zu den Raumgrößen, Elektro- und Haustechnikanschlüssen entnommen werden. Gleichzeitig wird der Ist-Zustand des Gebäudes erfasst und bietet daher den Zugang zu hilfreichen Zusatzinformationen, zu den verbauten technischen Geräten einschließlich der Wartungsintervalle und Garantiebedingungen. Es kann vorkommen, dass Bauwerke umgebaut, erweitert oder abgerissen werden. Dank des BIM-Modells und deren Informationen über die verbauten Materialien wird die Grundlage für Sanierungs-, Abbruch- und Umbauarbeiten gebildet.

### **Gebäudebetreiber – Facility Manager**

- Übernahme der vollständigen baulichen und technischen Dokumentation eines Bauwerks
- Effizientere Bewirtschaftung und Instandhaltung des Gebäudes
- Bessere Einschätzung der Kosten bei Sanierungs- und Umbaumaßnahmen

## **2.7 Bauwerksmodelle**

Digitale Bauwerksmodelle sind Ausgangspunkte für die modellbasierte Zusammenarbeit. Dabei werden diese Modelle von den jeweiligen Fachplanern erstellt. Diese fachspezifischen Bauwerksmodelle werden auch Fachmodelle genannt, die je nach Fachdisziplin unterschiedliche Inhalte bezüglich Bau- und Raumelementen sowie deren geometrischen und materiellen Merkmalen besitzen. Somit repräsentieren sie mehrere Aspekte des Bauvorhabens in Form von dreidimensionalen Modellen, die dadurch auch automatisch in Pläne ausgegeben werden können.

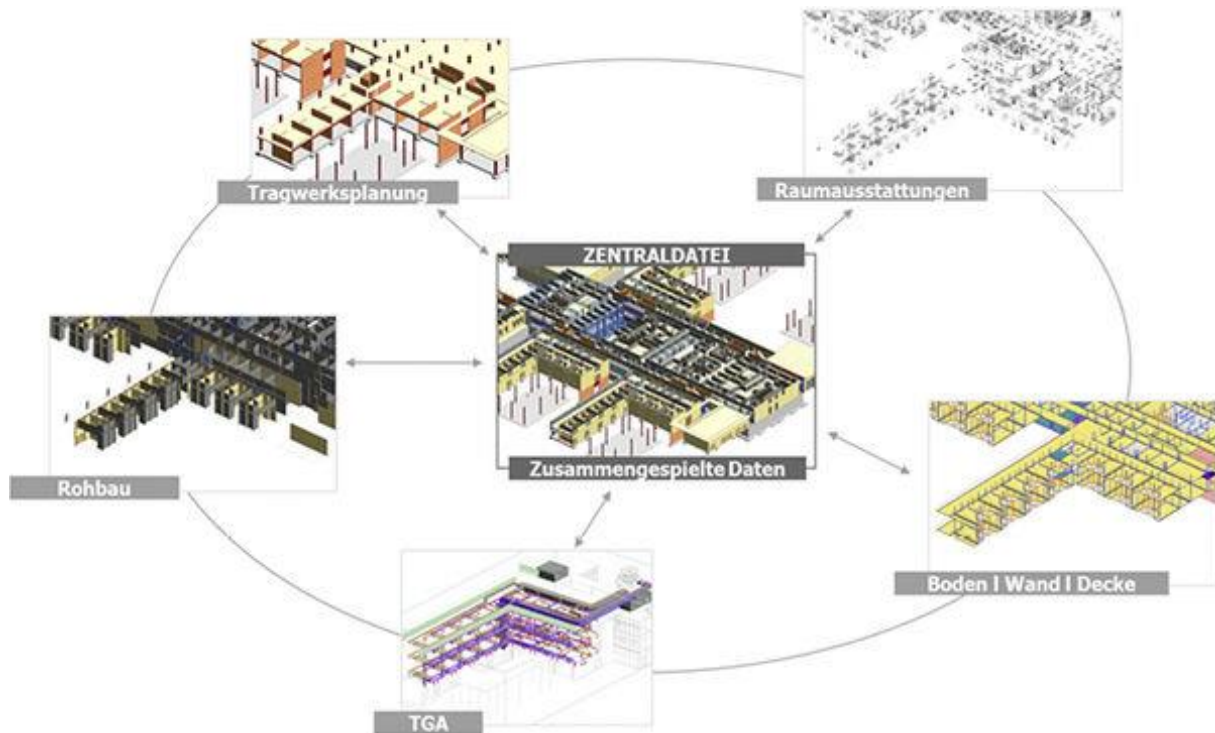


Abb. 2.9 Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell [3]

## 2.7.1 Gesamtmodell

Gleichermaßen wie das Koordinationsmodell setzt sich auch das Gesamtmodell aus mehreren Fachmodellen zu einem virtuellen Informationsmodell zusammen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass alle relevanten Daten und Informationen des Bauwerks aller beteiligten Gewerke in diesem Modell enthalten sind und sich nicht wie bei dem Koordinationsmodell nur auf einige Fachmodelle beschränkt. Zusammengefasst bildet das Gesamtmodell das gesamte Bauwerk innerhalb der Planungsgrenzen ab und wird deshalb hauptsächlich für die umfassende Dokumentation am Ende der Projektlaufzeit genutzt.

## 2.7.2 Fachmodell

Als Fachmodell wird das disziplin- bzw. gewerkespezifische 3D-Modell eines Fachplaners verstanden. Dabei beschreiben diese Modelle Bauteile, Bauwerkselemente und technische Komponenten mit deren Merkmalen und Eigenschaften. Im Normalfall ist das Architekturmodell als Fachmodell die Grundlage für weitere Fachmodelle wie das Tragwerksmodell oder die Fachmodelle für die TGA. Diese einzelnen Modelle werden über die Projektlaufzeit bearbeitet und ständig mit neuen Informationen gefüllt. Während für das Fachmodell des Tragwerksplaners die Material- und Querschnittsdaten



eine wichtige Rolle spielen, ist es beim Haustechniker viel mehr die Aufteilung der Räumlichkeiten, die im Vordergrund seiner Planung stehen. Durch das Zusammenfügen der einzelnen Fachmodelle ergibt sich das zentrale Koordinationsmodell. [4] [5]

Im Weiteren werden die 3 wichtigsten Fachmodelle vorgestellt.

### **2.7.2.1 Architekturmodell**

Architekten erstellen das Architekturmodell, das ein virtuelles Abbild eines geplanten Bauwerks ist. Dies entsteht meist zu Projektanfang und dient in der Regel als Referenzmodell für weitere Fachmodelle, sodass schon in frühen Projektphasen die Konzeptüberlegungen der anderen Fachplaner berücksichtigt werden. Somit bildet das Architekturmodell eine Vorgabe, an der sich die Modelle der anderen Fachdisziplinen orientieren können. [4] [9]

Zudem bietet das Architekturmodell eine aussagekräftige Visualisierung, um beispielsweise die räumliche Darstellung von komplexen Entwürfen besser darstellen lassen zu können. Dies beschleunigt die Entscheidungsprozesse und fördert ein einfacheres Entwurfsverständnis aller Projektbeteiligten. Dadurch lassen sich auch sehr schnell Ergänzungen und Änderungswünsche realisieren, die leicht verständlich und anschaulich zu erklären sind. [4]

#### **Das Architekturmodell unterteilt sich in:**

- ein Raummodell: Es umfasst sämtliche Innen- und Außenräume und dient als übergeordnete Gliederung des Bauwerks.
- ein Rohbaumodell: Dieses Modell besteht aus allen konstruktiv relevanten Bauteile, die für die Standsicherheit eines Gebäudes nötig sind, wie z.B. Wände, Stützen, Decken, ...
- Ausbaumodell: Hier werden alle Bauelemente erfasst, die keine Bedeutung für die Tragkonstruktion haben, wie z.B. nichttragende Trennwände, Möbel, Raumausstattung, Raumgestaltung, ...

#### **Darunter können weitere Architekturmodelle sich aufteilen in:**

- ein Fassadenmodell: Dieses Modell beinhaltet die komplette Gebäudehülle wie z.B. Fenster, Türen, Fassade, ...
- ein Umgebungsmodell: Hier werden die Landschafts- und Stadtumgebung als Gestaltungselement eingebunden. Dadurch können Erschließungs- und Grenzsituation dargestellt werden.

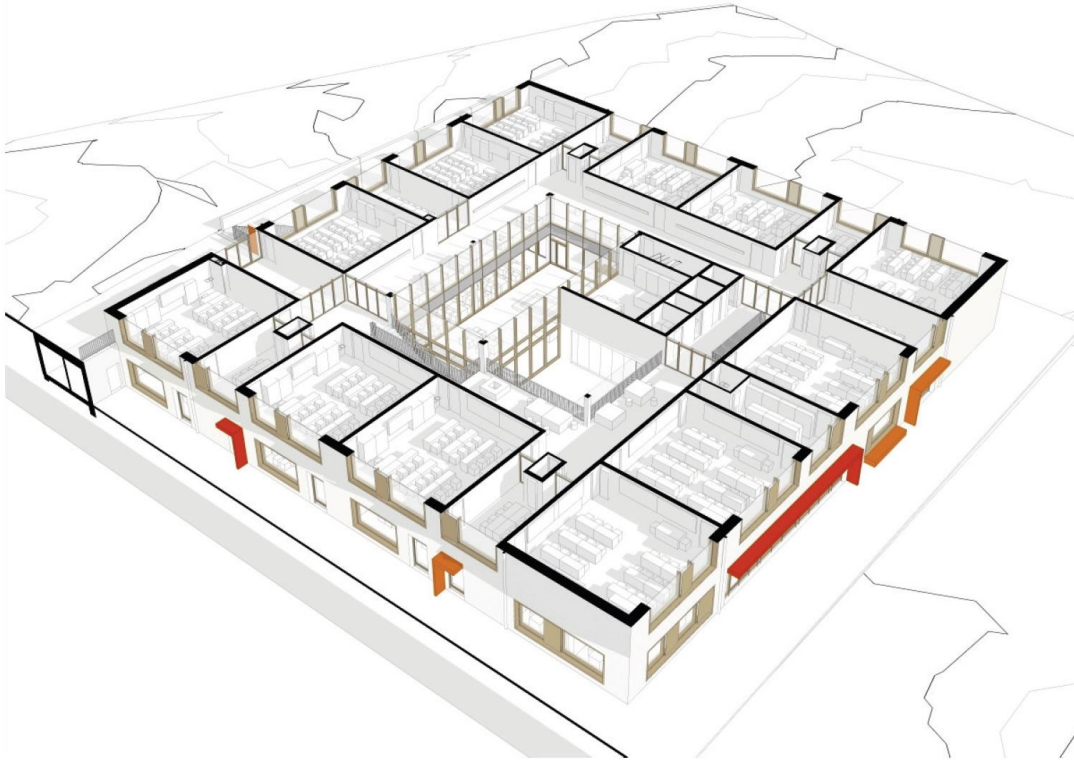


Abb. 2.10 Architekturmodell: Haus des Lernens in Essen [4]

### 2.7.2.2 Tragwerksmodell

Das Tragwerksmodell enthält alle tragenden Bauteile, die für die Tragfähigkeit des Bauwerks verantwortlich sind. Es wird aus dem Architekturmodell abgeleitet und bildet die Ausgangslage für die Erstellung eines Statikmodells. In diesem Modell wiederum werden die statischen Berechnungen und Nachweise anhand eines kompletten dreidimensionalen Analysemodells oder auch an Teilmodellen durchgeführt. Im Kapitel 4 wird auf diese Struktur- und Berechnungsmodelle näher eingegangen. [4] [9]

Dieses Modell garantiert, dass durch den Tragwerksplaner festgelegte Bauteilabmessungen und Materialgüten vollständig erfasst und mit dem Architekturmodell übereinstimmen. Zudem können Kollisionen mit der Haustechnik frühzeitig erkannt und behoben werden. Somit dient es der Koordination mit dem Architekturmodell und den Modellen anderer Fachplaner. [4] [9]

Das Tragwerksmodell bildet für den Baustatiker die Grundlage zur Erstellung der Schal- und Positionspläne sowie zur Ermittlung von Massen und Mengen. Auch die Erzeugung eines dreidimensionalen Bewehrungsmodells ist durch das Tragwerksmodell realisierbar, wodurch automatisch Bewehrungspläne erstellt werden können. [4] [9]

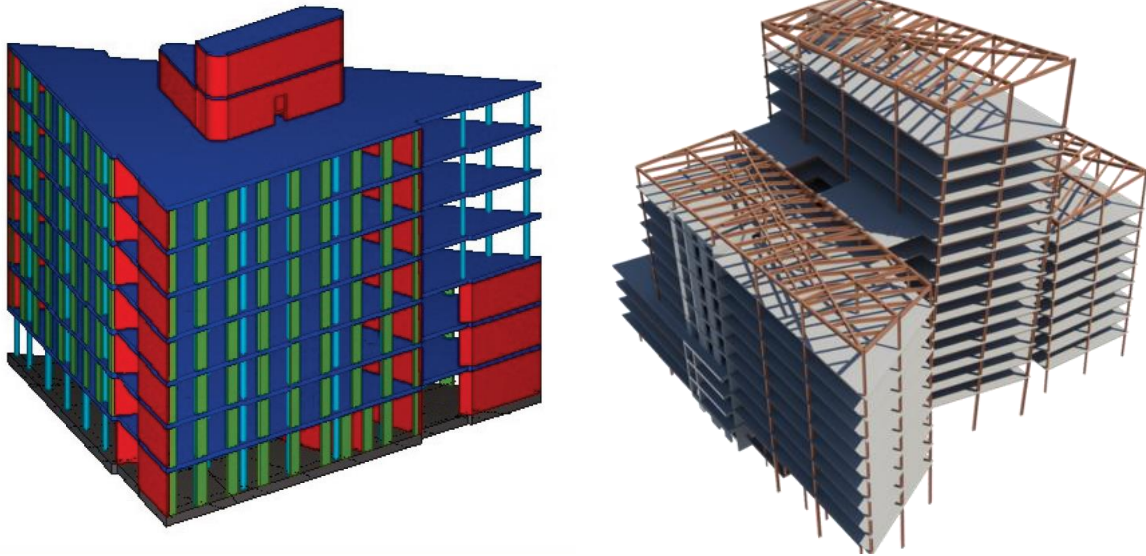


Abb. 2.11 Tragwerksmodelle [4] [10]

### 2.7.2.3 TGA-Modell

Das Modell für die Haustechnik beinhaltet die Modelle ihrer einzelnen Fachgewerke wie die Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärplanung als auch die Elektro- und Fernmeldetechnik. Auch hier dient das Architekturmodell als Grundlage, was vor allem für die Zuordnung der Haustechnikkomponenten mit Hilfe des abgeleiteten Raummodells wichtig ist. Die Modelle stellen ausschließlich die Systemeinheiten, die involvierten Anlagen und Komponenten ihrer Fachdisziplinen dar. Diese sind derart logisch miteinander zu verknüpfen, dass daraus Erkenntnisse zu den Abhängigkeiten erlangt werden können.

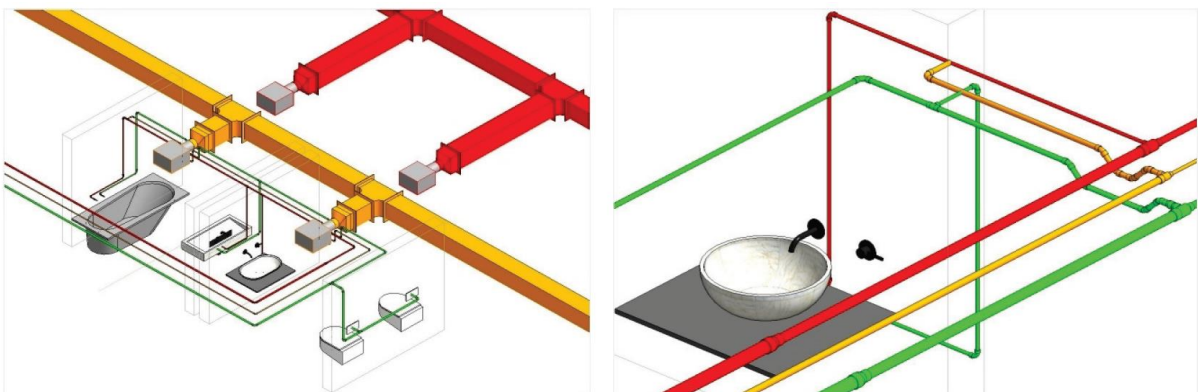


Abb. 2.12 TGA-Modelle: Lüftungs- und Sanitärplanung [4]

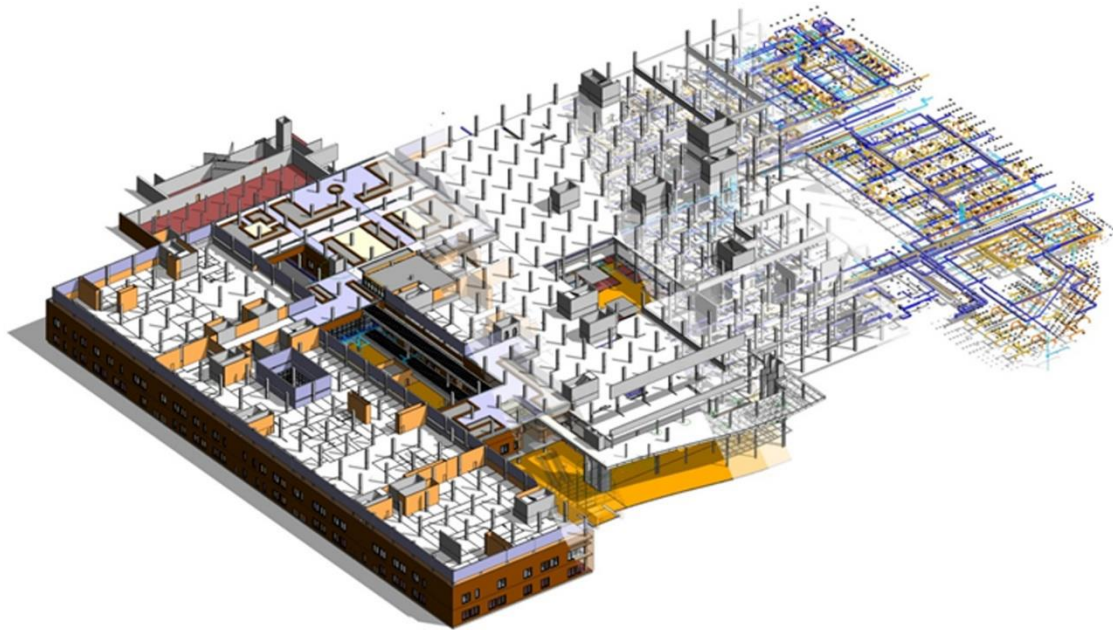
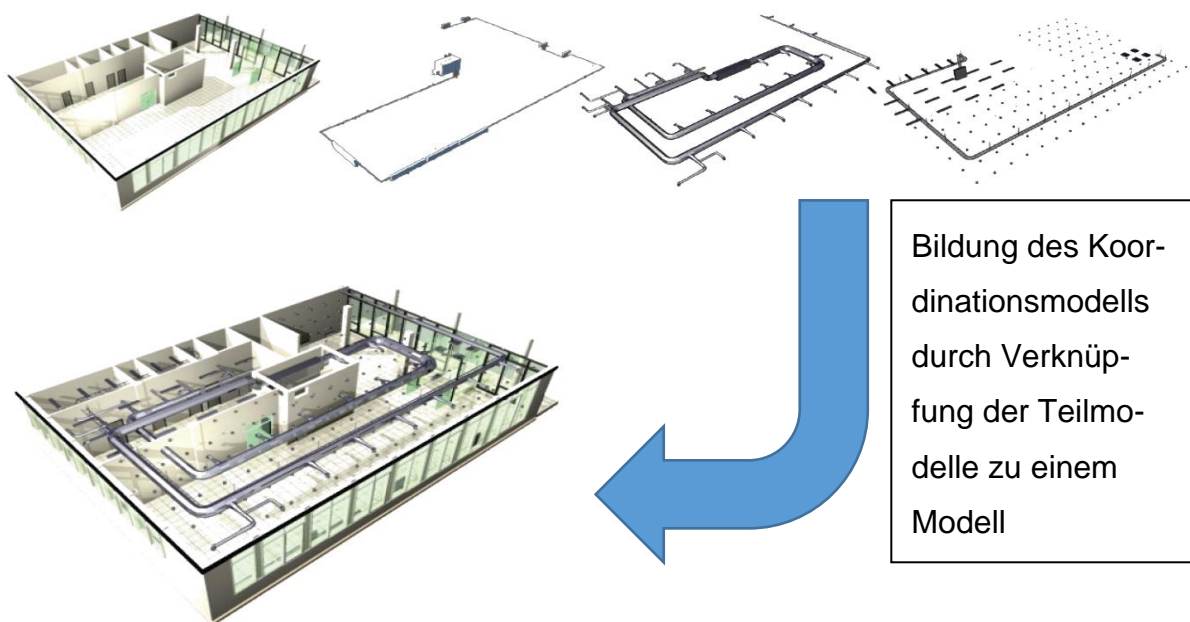


Abb. 2.13 Al Ain Hospital. Nacheinander aufgefächerte Fachmodelle der Gewerke Architektur, Tragwerk, TGA (v. l. n. r.) ergeben ein Gesamtmodell [3]

### 2.7.3 Koordinationsmodell

Nach der Erstellung der Fachmodelle durch die jeweiligen Fachplaner wird durch das Zusammenführen dieser Modelle mithilfe eines BIM-Viewers oder eines Koordinierungsprogramms ein temporäres Koordinationsmodell erzeugt.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Zusammensetzung der Teilmodelle der HLS-Planung und der Architektur zu einem Koordinationsmodell.



Bildung des Koordinationsmodells durch Verknüpfung der Teilmodelle zu einem Modell

Abb. 2.14 Bildung eines Koordinationsmodells [4]

Ziel des Koordinationsmodells ist es die Planung der jeweiligen Fachdisziplinen auf Plausibilität, Schlüssigkeit und Vollständigkeit zu überprüfen. Somit dient es neben der Dokumentation des Planungs- und Bauverlaufs auch der Projektkoordination und liefert für alle am Bau Beteiligten einen Gesamtüberblick über das Bauvorhaben. Des Weiteren können Kollisionskontrollen durchgeführt werden sowie frühzeitig interdisziplinäre Fehler entdeckt und ausgebessert werden, die in der herkömmlichen bzw. altmodischen Planungsweise erst auf der Baustelle auffallen würden. [4]

## 2.8 Methoden und Ansätze in der BIM-Planung

Aktuell herrschen in vielen deutschen Architektur- und Ingenieurbüros veraltete und überholte Arbeitsweisen vor. Um den Umstieg von der herkömmlichen zeichnungsgestützten auf die modellbasierte Arbeit zu ermöglichen, gilt es Änderungen in den bisherigen Planungsprozessen vorzunehmen. Die BIM-basierte Planung erfordert nämlich das Umdenken und Einführen neuer Arbeitsmethoden in der Planung von Bauwerken. Damit dieser Übergang der neuen Planungskultur möglichst reibungslos und flüssig ablaufen kann, ist ein stufenweiser Übergang geeignet. Dabei werden verschiedene technologische Ansätze und Entwicklungsstufen bei der Umsetzung von BIM unterschieden. Abbildung 2.15 fasst schließlich alle Methoden zusammen. [5]

### 2.8.1 little bim

Der Ansatz des little bim beruht auf der BIM-basierten Planung in nur einem einzelnen Planungsbüro, das gleichzeitig auch nur eine Softwarelösung eines Herstellers benutzt. Deshalb wird diese Methode auch als Insellösung innerhalb einer Fachdisziplin bezeichnet, womit eine höhere Effizienz beim Planersteller erreicht wird. Dies gelingt durch die Erzeugung eines digitalen Gebäudemodells und deren Ableitung von Plänen. Eine Weiternutzung des Modells mit anderen Programmen findet allerdings nicht statt. Die Kommunikation mit den anderen Fachplanern erfolgt daher immer noch konventionell mit dem Austausch von 2D-Plänen und folglich bleibt das Potential einer durchgängigen Nutzung digitaler Bauwerksinformationen unausgeschöpft. [5] [11]

### **Beispiel:**

In einem Architekturbüro wird ein Gebäudemodell mittels der Software ArchiCAD erstellt. Der Architekt hat nun die Möglichkeit aus diesem Modell seine Kosten zu ermitteln und Visualisierungen zu erzeugen. Jedoch können auch nur aus diesem Architektenmodell Grundrisse, Schnitte und Ansichten für weitere Projektbeteiligte abgeleitet werden. Dadurch verlieren die Fachingenieure die Intelligenz der Daten, die bereits aufgebaut worden sind.

### **2.8.2 BIG BIM**

Dagegen basiert BIG BIM auf die Kommunikation und Kollaboration zwischen allen Projektbeteiligten, die mittels digitaler Gebäudemodelle Zugang über den kompletten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg haben. Hierdurch wird ein fachübergreifendes Arbeiten ermöglicht, da für den Informationsaustausch und die Koordination der Zusammenarbeit Internetplattformen und Datenbanken zur Verfügung gestellt werden. Außerdem werden für die Planung der Bauvorhaben Softwarewerkzeuge unterschiedlicher Hersteller benutzt, was letztlich diese BIM-Methode als durchgängige und heterogene Lösung auszeichnet. [5] [11]

### **Beispiel:**

In einem Architekturbüro wird ein Gebäudemodell mittels der Software ArchiCAD erstellt. Der Architekt nutzt jetzt die Vorteile nicht nur für seine eigenen Arbeitsprozesse, sondern ermöglicht es auch anderen Fachplanern mit seinem Gebäudemodell und den darin enthaltenen Bauwerksdaten weiter zu arbeiten. Dabei erfolgt die Kommunikation nicht mehr über den Austausch von 2D-Plänen, sondern über die IFC-Schnittstelle, bei denen wichtige Gebäudeinformationen überliefert werden. Die Intelligenz der Daten bleibt dabei erhalten und können für die Fachplaner bei ihren Berechnungen weiterhin benutzt werden.

### **2.8.3 Closed BIM**

Bei dieser BIM Variante arbeiten alle Planer mit der gleichen Softwarelösung an einem Bauprojekt. Somit garantiert der Ansatz von Closed BIM einen möglichst fehlerfreien Austausch von Daten in der gleichen Produktfamilie und verursacht dabei auch keine Informationsverluste, da identische Dateiformate benutzt werden können. Dies bietet sich vor allem für eingespielte Partner und Teams an, die immer wieder gemeinsam

an Projekten arbeiten. Allerdings ist dieser Vorteil auch gleichzeitig ein Nachteil, da nicht jeder Fachplaner über diese Programme verfügt. Dadurch entsteht eine eingeschränkte Flexibilität an externe Fachdisziplinen, bei der keine Kompatibilität mit externen Lösungen möglich ist. [1] [12]

### **Beispiel:**

Ein Architekturbüro arbeitet mit der Programmfamilie Revit des Herstellers Autodesk. Die Fachplaner benutzen ebenfalls die Softwarewerkzeuge des gleichen Herstellers. Der Austausch von Daten erfolgt somit ohne Probleme und eine unkomplizierte Koordination von Fachmodellen sowie die Kollisionsanalyse werden ermöglicht. Allerdings ist es eher selten der Fall, dass gerade jeder der Projektbeteiligten über die gleiche Software verfügt. Jedes Planungsbüro verfolgt seine eigenen Kriterien im Umgang mit ihren Programme, um für ihre Arbeit der Planung eine ideale Lösung zu finden. Des Weiteren sind bei der Closed-BIM Variante gewerkspezifische Modellanforderungen infolge der einheitlichen Planungssoftware nicht abbildbar.

### **2.8.4 Open BIM**

Open BIM steht für den zukunftsorientierten Grundgedanken der interdisziplinären Zusammenarbeit der unterschiedlichen Projektpartner. Dabei werden offene und herstellernerneutrale Schnittstellen verwendet, die in die Programme verschiedener Softwareunternehmen offen und transparent eingebunden werden können. Somit ist ein Austausch von Gebäudemodellen aller Gewerke unabhängig ihrer verwendeten Software möglich. Es ist allerdings anzumerken, dass der Datenaustausch mittels offener Schnittstellen nicht immer einwandfrei funktioniert und oft fehlerbehaftet ist. Hier bedarf es den Projektbeteiligten als auch den Softwareherstellern gemeinsame Richtlinien zu entwickeln und Handlungsanweisungen und Übergaberoutinen der Fachplaner aufzustellen, die eine möglichst verlustfreie Informationsübergabe sicherstellen. [5] [11]

### **Beispiel:**

Ein Ingenieurbüro für Baustatik kann aufgrund dieser Methode ihre bisher bewährten Softwarewerkzeuge für die Planung des Tragwerks einsetzen. Mithilfe der IFC-Schnittstelle ist es den Bauingenieuren möglich auf die bereits erstellten Bauwerksinformationen zuzugreifen und daher eine effektivere Arbeit ohne erneute Eingabe von Daten ausführen zu können. Zudem ist es ihnen überlassen, wie sie die Herangehensweise der Planungsprozesse gestalten.

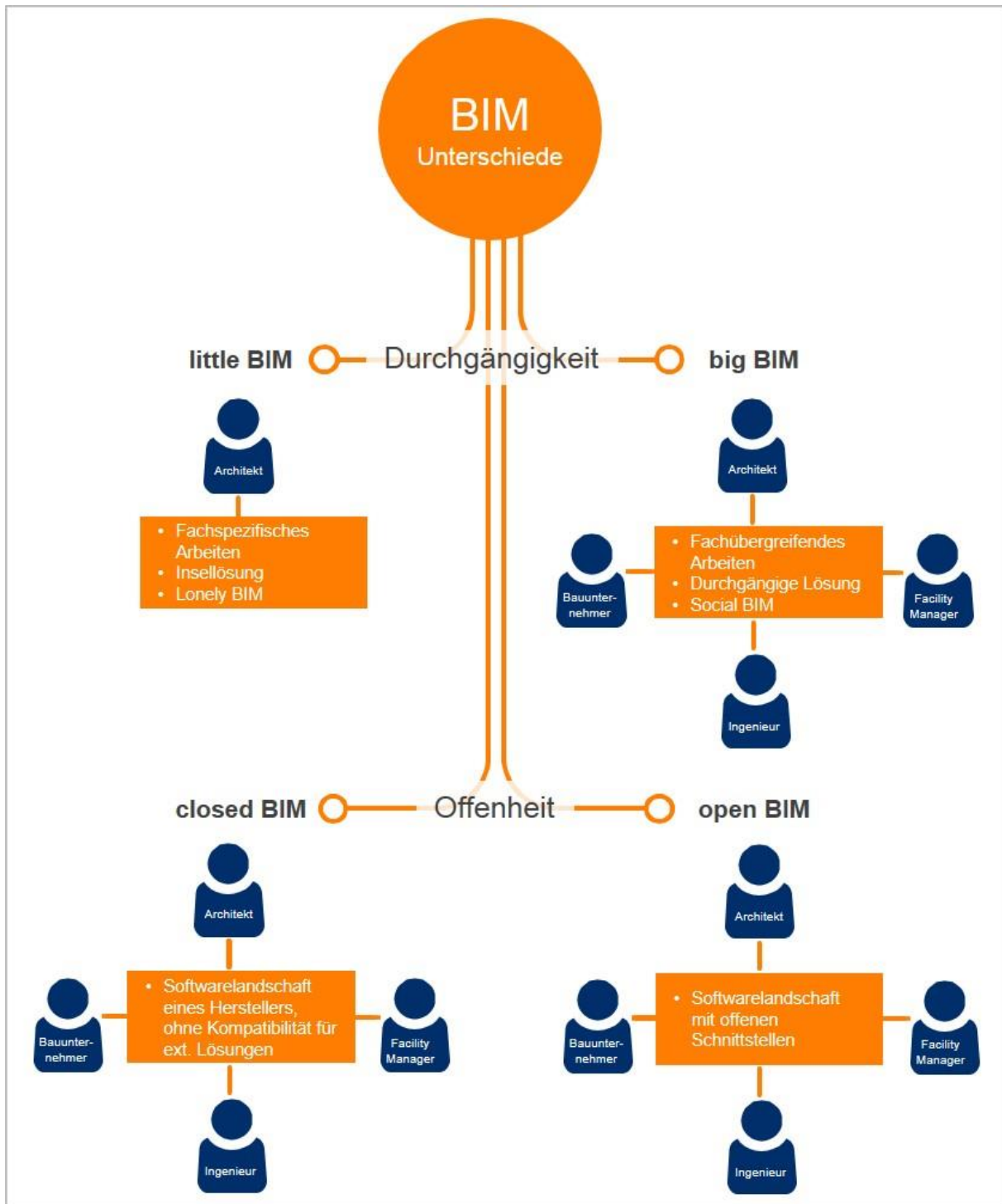


Abb. 2.15 Vergleich und Unterschiede der BIM-Methoden [11]



## 2.8.5 Kombination der Technologiestufen

Die Verwendung dieser BIM-Ansätze lassen sich auch miteinander kombinieren, welche durch die Parameter Durchgängigkeit und Offenheit beeinflusst werden. [16]

little closed BIM beschreibt eine geschlossene BIM-Insel, bei der jeder einzelne Anwender an seinem eigenen Gebäudemodell arbeitet ohne diese Informationen mit den anderen Fachdisziplinen auszutauschen.

little open BIM bietet eine offene BIM-Insel an, wobei auch hier die Benutzer zwar nur in ihrem eigenen Bereich mit dem Gebäudemodell arbeiten, jedoch ihre Bauwerksinformationen mit anderen Planungspartner austauschen.

BIG closed BIM ist eine geschlossene BIM-Integration, die die Erstellung verschiedener Gebäudemodelle unterschiedlicher Gewerke beinhaltet. Diese werden über ein neutrales Datenformat miteinander ausgetauscht.

Dagegen ist BIG open BIM eine offene BIM-Integration, bei der unterschiedliche Planungspartner mit digitalen Gebäudemodellen und beliebiger Software arbeiten können. Das Austauschformat bleibt weiterhin offen und neutral.

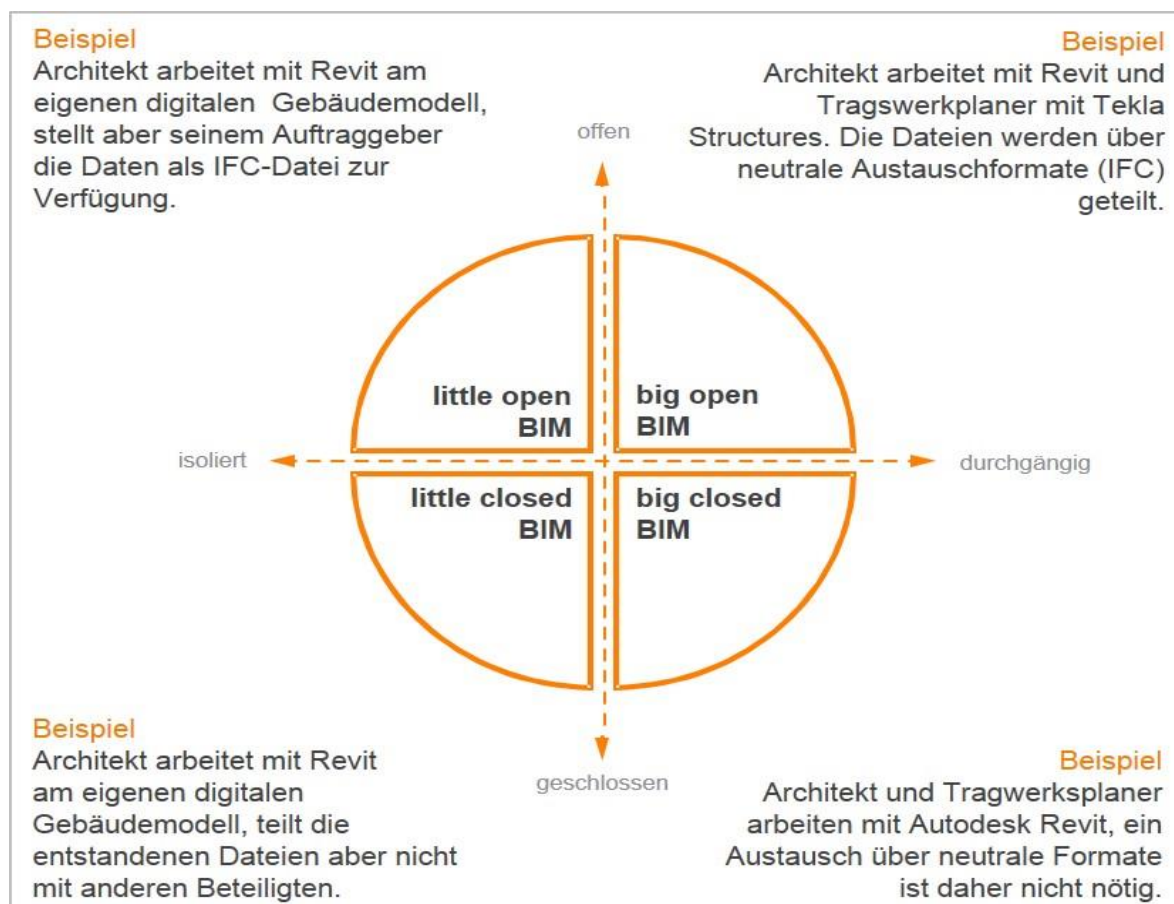


Abb. 2.16 Unterscheidung der BIM-Methoden anhand von Durchgängigkeit und Offenheit [11]

## 3 Aktueller Stand von BIM

### 3.1 BIM im Ausland

BIM hat im Ausland bereits einen hohen Stellenwert in der Planung, im Bauwesen und in der Bewirtschaftung von Bauwerken erlangt. Vor allem Singapur, die USA, Großbritannien sowie die skandinavischen Länder in Europa gelten als Pioniere der BIM-Technologie. Zu berücksichtigen ist aber, dass bei den ersten 3 genannten Ländern der Staat als größter Auftraggeber eine wesentliche Position einnimmt. [5]

In Singapur waren die Planungsbüros schon relativ früh im Jahr 2004 verpflichtet, Bauunterlagen für öffentliche Projekte online bereit zu stellen, wobei digitale Bauwerksmodelle im Dateiformat IFC übergeben werden mussten. Allgemein ist die Entwicklung von BIM in Singapur weit fortgeschritten. Dies liegt auch den Richtlinien der Building and Construction Authority, die für Bauprojekte klare Standards und Randbedingungen vorgibt. [5]

Auch in den skandinavischen Ländern Finnland, Schweden und Norwegen wird stark auf die Verwendung der BIM-Methode gesetzt. Dies liegt zum einen daran, dass öffentliche Auftraggeber ab einem gewissen Auftragsvolumen die Planungsmethode vorschreiben. Andererseits gibt es auch hier bereits Richtlinien für die Umsetzung von Bauprojekten mittels BIM. [5]

Während sich die BIM-Technologie in den USA im Aufwärtstrend befindet, hat sie sich in Großbritannien schon längst durchgesetzt. In den USA schreiben die General Service Administration, Teile der US-Armee und einige Bundesstaaten den generellen Einsatz von BIM vor. In Großbritannien dagegen nimmt die Regierung einen viel stärkeren Einfluss auf die Bauindustrie als die US-Regierung. Damit die britische Bauindustrie sich zudem im internationalen Wettbewerb Vorteile verschaffen und somit auf ein neues technologisches Niveau angehoben werden kann, wurden ab 2016 für alle öffentlichen Bauvorhaben BIM-Standards verbindlich vorgeschrieben. [5]

Spitzenreiter in Sachen BIM ist jedoch Dänemark. Seit 2011 ist in Dänemark die BIM-Methode seit 2011 für alle öffentlichen Projekte mit einem Auftragsvolumen von mehr als 2,7 Millionen Euro vorgeschrieben. Orientierung bieten dabei Richtlinien und vorgegebene Standards in der BIM-Planung. [14]

Zusammenfassend haben sich vor allem diese Nationen mit dem Thema der Digitalisierung im Bauwesen schon früh beschäftigt und dadurch große Erfahrungen im Abwickeln von Projekten mittels der BIM-Technologie erlangen können. Dank der einerseits zum Teil vorgeschriebenen Planungsmethode als auch andererseits der genormten Richtlinien erschaffen sich diese Länder einen Wettbewerbsvorteil im Bauen und Planen von internationalen Projekten. Auch die Erfahrung von Ländern, in denen sich das digitale Bauen bereits etabliert hat, zeigt, dass es ein Vorgehen der öffentlichen Hand als Bauherr erfordert, um die Arbeitsmethode des BIM nachhaltig einführen und etablieren zu können.



Abb. 3.1 Zeitliche Übersicht zu den BIM-Richtlinien und Leitfäden in ausgewählten Ländern [4]

## 3.2 BIM in Deutschland

### 3.2.1 Entwicklung von Konzepten und Richtlinien

BIM ist zwar in Deutschland angekommen aber der Blick in die zuvor genannten Länder, die die BIM-Technologie weitestgehend anwenden, macht deutlich, dass Deutschland in Sachen digitalisierter Planung Nachholbedarf hat. Die verbindliche Einführung von BIM ist in Deutschland noch nicht sehr weit fortgeschritten und daher lassen sich auch nur vereinzelte Unternehmen auffinden, die diese Arbeitsweise bereits erfolgreich umsetzen. Was Deutschland braucht, sind Vorgaben, Richtlinien und Randbedingungen für die Abwicklungen von BIM-Projekten. Es muss also eine Grundlage geschaffen werden, die nicht nur eine einheitliche Definition der Methodik bietet, sondern

auch die Verantwortlichkeiten und Funktionsweise von BIM sowohl im Planungs- als auch im Geschäftsprozess genau beschreibt. [5]

Neben einiger privaten Initiativen zur Verbreitung des digitalen Bauens wurde bereits 2010 der BIM-Beirat unter dem Vorsitz des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung gegründet, dessen Ziel es ist den Umstieg auf BIM-gestützte Planungsverfahren in Deutschland vorzubereiten. [5]

Aufgetragen vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) wurde 2013 der BIM-Leitfaden für Deutschland entwickelt. Der Leitfaden ist ein Ratgeber für alle Interessenten der BIM-Methode, definiert die wichtigsten Begriffe, beschreibt grundlegende Arbeitsprozesse und bietet somit eine erste, praxisnahe Einführung in die Thematik und die damit verbundenen Anforderungen. [5]

Anfang des Jahres 2015 wurde die Initiative „planen-bauen 4.0“ aus Verbänden und Institutionen des Bereichs Planen, Bauen und Betrieb zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens gegründet. Ziel ist es allen am Bau beteiligten Firmen die innovativen Möglichkeiten und Potenziale der BIM-Arbeitsweise und des digitalen Bauens näher zu bringen. [5]

### 3.2.2 Nutzung in Deutschland

Die deutsche Bauindustrie ist zwar ein starker und erfolgreicher Wirtschaftssektor und dank des Immobilienbooms wächst das Auftragsvolumen deutscher Baufirmen stetig. Nichtsdestotrotz ist die Bauindustrie der größte Verursacher von Emissionen, Termin- und Kostenüberschreitungen sowie Fehlplanungen sind die Regel. Was die Modernisierung von Arbeitsprozessen im Zeitalter der Digitalisierung betrifft, verhält sie sich ebenfalls sehr träge. Eine Umfrage zufolge der Schweizerischen Vereinigung Beratender Ingenieurunternehmungen (USIC) [16] aus dem Jahre 2018 bestätigt diese Aussage ebenfalls. Bei dieser Umfrage wurden 376 deutschsprachige und 55 französischsprachige Unternehmen befragt, wobei letztendlich 175 Unternehmen an der Umfrage teilgenommen haben. So haben sogar 41% der Umfrageteilnehmenden die BIM-Methode noch nie benutzt. Verglichen zum Vorjahr ist dieser Anteil aber um fast 20% gesunken, sodass die Unternehmen die Bedeutsamkeit des digitalen Bauens nun langsam realisiert haben und die Planungsmethode BIM immer mehr verwenden. Trotzdem zeigt die folgende Abbildung 3.2, dass BIM tendenziell in den kleineren Unternehmen noch nicht wirklich angekommen ist, wohingegen BIM in fast allen großen

Firmen zum Einsatz kommt. [16]

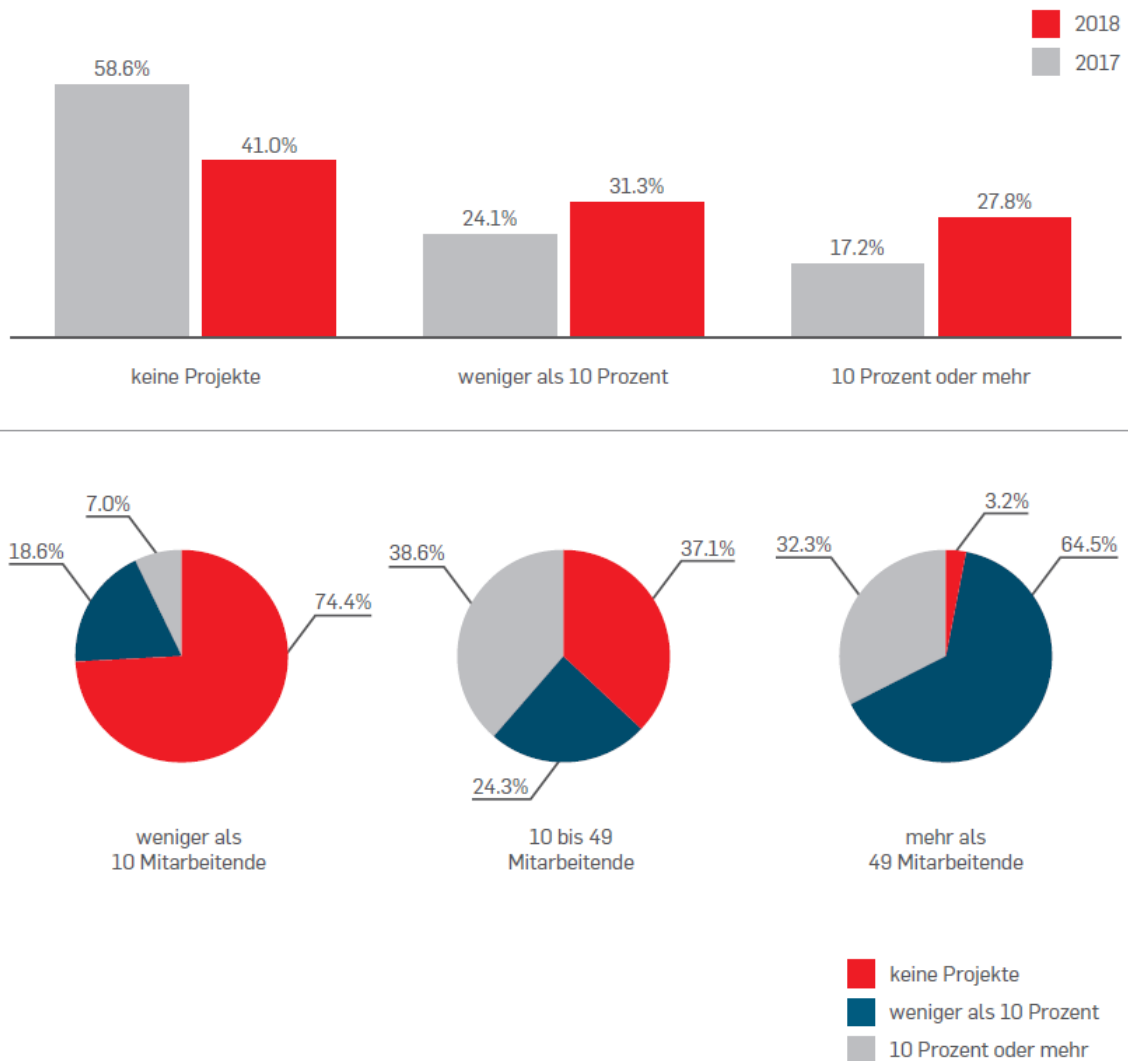


Abb. 3.2 Nutzungsgrad der BIM-Methode in Projekten je nach Unternehmensgröße [16]

Hervorgehend aus der Umfrage werden auch Gründe genannt, die für die Unternehmen bei der Umsetzung von BIM-Projekten besonders wichtig sind. An erster Stelle steht dabei der Wettbewerbsvorteil (19%), gefolgt von der Nachfrage durch Privatkunden (14%). Auch die bessere Planungsqualität (12%) sowie die zentrale Informationsquelle für alle Beteiligten (9%) sehen die Unternehmen als ausschlaggebend an. Dagegen ist die Forderung der Generalunternehmer (8%) sowie der öffentlichen Hand (7%) ein untergeordnetes Kriterium. Auch die Kosteneinsparungen bei Planung und Bau (5%) spielen keine wesentliche Rolle.

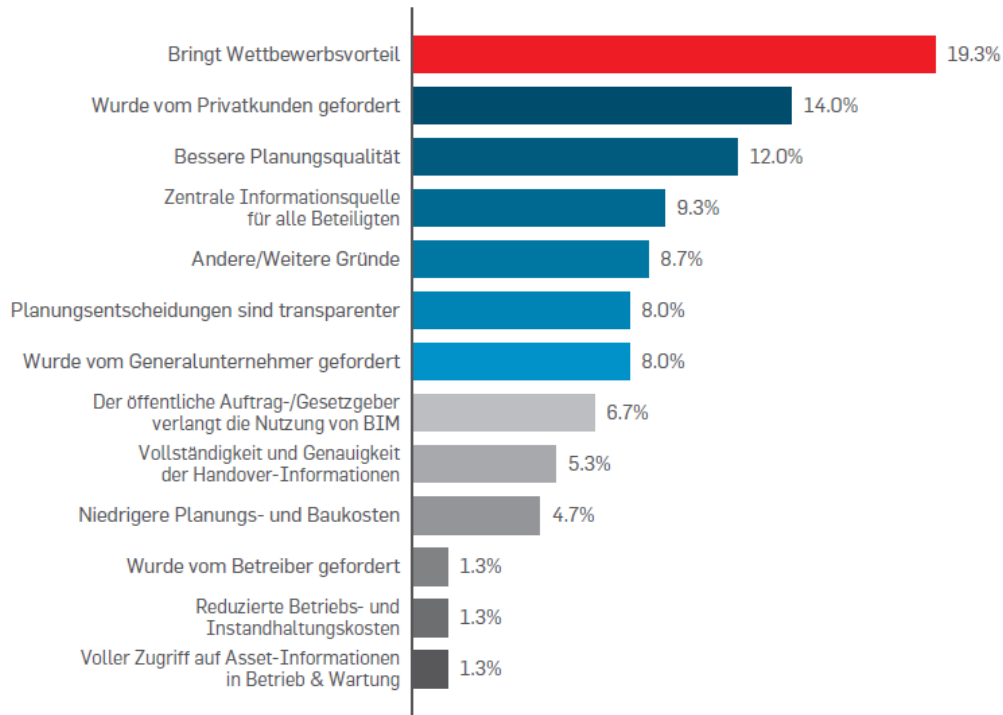


Abb. 3.3 Gründe für die Nutzung von BIM [16]

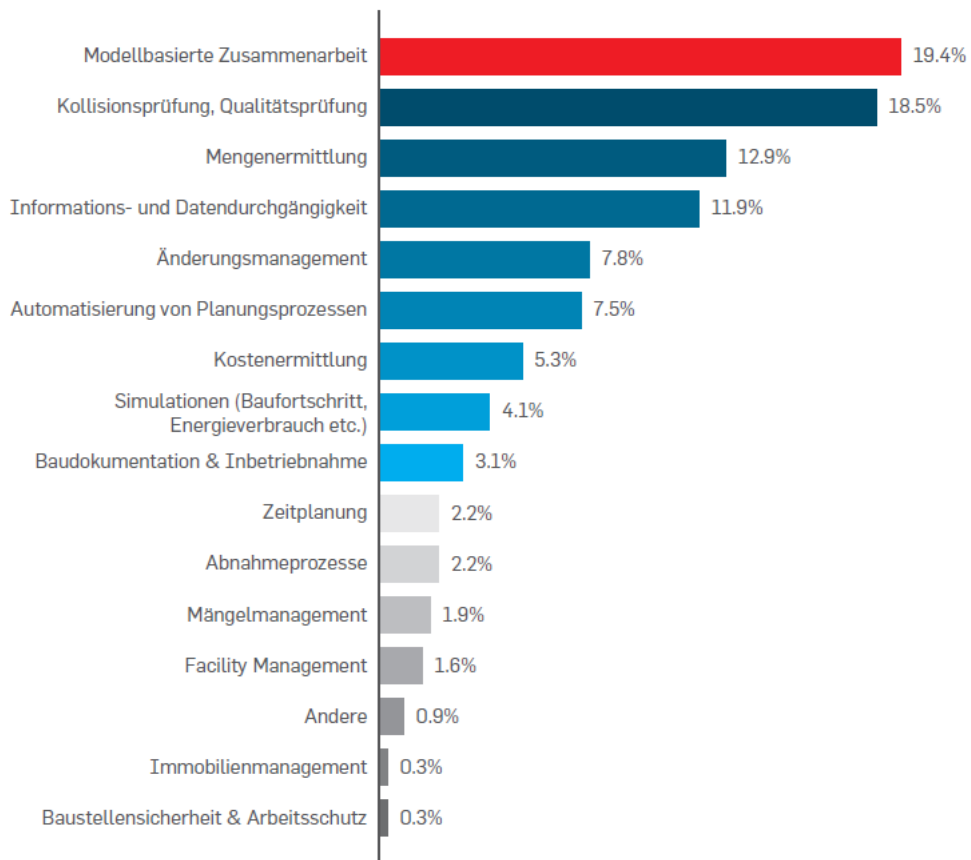


Abb. 3.4 Optimierte Arbeitsprozesse dank BIM [16]

Durch den Einsatz von BIM versprechen sich die Unternehmen effektive Vorteile in der Planung, Ausführung und dem Betrieb von Bauwerken. Aus der Umfrage geht hervor, dass BIM einen besonders positiven Einfluss auf die modellbasierte Zusammenarbeit, die Verbesserung der Kollisions- bzw. Qualitätsprüfung sowie die Mengenermittlung hat. Weniger sind es die Zeitplanung, das Mängelmanagement oder auch das Facility Management, aus denen die Unternehmen ihre Arbeitsprozesse dank BIM optimieren konnten. [16]

### 3.2.3 Momentane Schwierigkeiten und Hindernisse

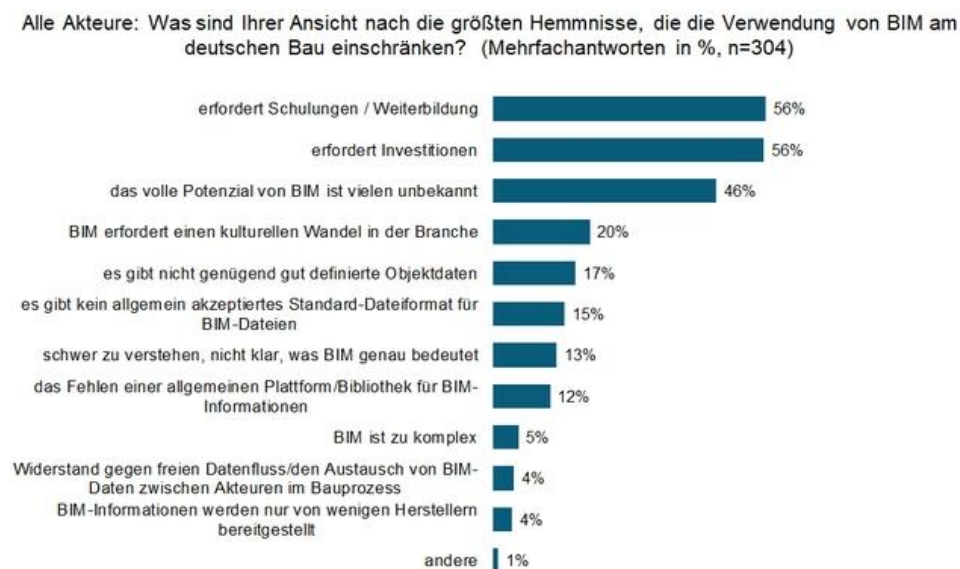
Doch warum hinkt Deutschland verglichen mit anderen Ländern bei der Einführung von BIM noch so hinterher? Warum nutzen bisher nur wenige Akteure der Baubranche die Potenziale der Digitalisierung aus? Andere Branchen profitieren bereits davon. Denn die Digitalisierung sowie die Arbeitsweise des BIM bietet allen am Bau Beteiligten Chancen und Möglichkeiten, ihre Produktivität und Effektivität zu steigern.

Allgemein ist bekannt, dass die Baubranche sich nur sehr langsam verändert. So dauerte damals die Umstellung von Stift, Papier und Zeichenbrett auf CAD mehrere Jahrzehnte bis sie sich bei den Zeichnern, Architekten und Ingenieuren endlich durchsetzte. Allerdings war die Einführung von CAD viel mehr eine technische Veränderung und Erweiterung, die die Arbeitsweise der Projektabwicklung nur wenig beeinflusste. Neben den traditionellen Planungsweisen ist es auch dem hohen Grad der Behäbigkeit und Bequemlichkeit im Bauwesen geschuldet, dass die Akzeptanz von BIM in Deutschland nur zögerlich voranschreitet. Die Angst und Ungewissheit vor einer höheren Transparenz in der Planung und Ausführung von Gebäuden führt zu Hindernissen, die abgebaut werden müssen. [17]

Eine weitere Schwierigkeit liegt an der Unwissenheit von BIM vieler Projektbeteiligten. Viele verstehen die eigentliche Arbeitsweise nicht, andere verstehen darunter sogar eine Software. Die mangelnde Kenntnis über die neuen Prozesse und Möglichkeiten resultieren aus einer fehlenden BIM-Ausbildung sowie bislang nicht vorhandenen BIM-Richtlinien in Deutschland. Durch fehlende Erfahrung und Richtlinien kann ebenfalls der Arbeitsaufwand nicht genau eingeschätzt oder kalkuliert werden. Das Wissen im Umgang mit Software sowie der Koordination mit Teilmodellen fehlt und kann durch häufigen Personalwechsel auch nicht aufgebaut werden. Oft ist den Anwendern auch nicht bewusst, inwiefern ihnen diese Planungsweise in ihren Arbeitsprozessen helfen könnte und welche Faktoren in der Projektabwicklung durch BIM beeinflusst werden.

Denn BIM betrifft jeden, der an einem Bauprojekt beteiligt ist. Hinzu kommt, dass zu wenige Hochschulen, Verbände und Berufsschulen BIM-Kompetenzen vermitteln. Die Ausbildung im technischen Bereich an Universitäten und Fachhochschulen von BIM ist zwar vorhanden, die praktische Einführung in Berufsbereichen des Bauwesens wie dem Bauhandwerk (Maurer, Zimmerer, ...) und den Lehrberufen (Bauzeichner, Konstrukteure, ...) dagegen nicht. [4]

Aktuell boomt die Baubranche. Bauunternehmen und Planungsbüros können sich vor Aufträgen nahezu nicht mehr retten. Somit bleibt auch nicht viel Zeit für die Investition von Schulungen und Trainings, denn Zeit ist in der Bauindustrie kostbar. Daher ist die Zurückhaltung bei der BIM-Einführung seitens der Projektbeteiligten absolut verständlich. So betrifft es vor allem die kleineren Büros, bei denen der zeitliche Aufwand sowie die Vorinvestitionen bei der Einführung von BIM eine Hürde sein könnten. Denn eine Umstellung auf BIM dauert laut den Erfahrungen von BIM-Intensivnutzern gut ein Jahr. Nebenbei müssen die Unternehmen noch ihre weiterhin laufenden Projekte betreuen. Schließlich nehmen Fortbildungen nicht nur Zeit in Anspruch, sondern sind immer mit zusätzlichen Kosten verbunden genauso wie die Ausstattung von EDV-Software. Dies bestätigt auch folgende Umfrage [19] der Marktforscher von BauInfoConsult, an deren Studie BIM-Monitor 2017 Anwender der BIM-Technologie aus mittleren und großen Bau- und Planungsfirmen teilnahmen. Auffallend hierbei ist, dass 56% der Befragten die verbundenen Fortbildungskosten der Mitarbeiter sowie die erforderlichen Investitionen in Technik und Personal für eine BIM-Einführung als Hindernis sehen. [18] [19]



© BauInfoConsult, August 2017

Abb. 3.5 Hindernisse bei der Einführung von BIM [18]



Hinsichtlich der Größe eines Unternehmens fällt zudem auch auf, dass insbesondere große Planungsbüros und Generalplaner von der Arbeitsmethode BIM profitieren, da sich bei ihnen die Schnittstellenproblematik durch die Planung in einem Hause reduzieren lässt. Zudem verfügen sie einerseits über die nötigen finanziellen Mittel zur Investition von Schulungen und Softwareprogrammen, andererseits werden aufgrund dieser Vorteile bei öffentlichen Bauvorhaben vor allem diese Büros bevorzugt, da sie bereits über eine gewisse BIM-Erfahrung verfügen. Die Generalplaner verschaffen sich folglich einen klaren Wettbewerbsvorteil, wohingegen kleine Architektur- und Ingenieurbüros nur schwierig mithalten können und vernachlässigt werden. [22]

Hauptsächlich in den ersten Leistungsphasen verschiebt sich der Aufwand, denn der Aufbau und die Pflege eines dreidimensionalen Gebäudemodells sind um einiges anspruchsvoller als bei der CAD-basierten Planung. So rückt die Vor- und Entwurfsplanung mehr in den Vordergrund, weil hauptsächlich in dieser Phase das BIM-Basismodell generiert wird. Folglich muss der Entwurfsverfasser des Gebäudemodells mehr Zeit in das 3D-Modell investieren ohne daraus unmittelbar einen Nutzen ziehen zu können. Erschwerend kommen noch zusätzliche Informationen hinzu für ein gut funktionierendes BIM-Modell, die aber häufig zu diesem Planungszeitpunkt noch nicht bekannt sind. Neben der Unterschätzung der Aufwandsvorverlagerung herrscht daher auch eine gewisse Unverträglichkeit mit der derzeit geltenden Fassung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) vor. So gestaltet sich die Anwendung der aktuellen Form der HOAI auch weiterhin als schwierig, da sich diese Aufwandsverschiebungen nur schwer im starren Gerüst der HOAI abbilden lassen. Um den Planungsleistungen der Architekten und Ingenieuren sowie deren Planungsaufwand gerecht zu werden, muss an der notwendigen Flexibilität der traditionellen Vergütungsmodelle gearbeitet werden. Somit ist das frühzeitige Erstellen eines digitalen Gebäudemodells momentan eher wenig attraktiv für den Planenden. [20] [21]

Bei der Durchführung von großen Bauprojekten ist es üblich, dass bei der Planung unterschiedliche Softwaresysteme benutzt werden. Die Daten werden im weiteren Verlauf mittels Schnittstellen ausgetauscht. Dabei stoßen Anwender immer wieder auf Probleme, da der Datenaustausch zwischen den einzelnen Anwendungen nicht oder nur unzureichend funktioniert. So werden nicht alle Eigenschaften und Attribute eines bereits erstellten Bauteils im Modell in eine andere Softwareapplikation übertragen. Folglich müssen Neueingaben durchgeführt werden, obwohl digitale Informationen schon einmal erzeugt worden sind. Die Programme bieten daher nur eine beschränkte

Funktionalität und Lösung zu anderen Programmen an im Vergleich zu der Funktionalität innerhalb eines Softwaresystems. Die IFC-Schnittstelle genießt weltweit einen anerkannten Ruf, weist allerdings durch ihre importierte Komponente in der Regel ein unterschiedliches Verhalten auf, anders als direkt in der Software implementierte Komponenten. Als Beispiel in der Tragwerksplanung sei die 3D-CAD Software Tekla Structures von Trimble und die Statikprogramme RSTAB / RFEM von Dlubal Software genannt. Hier findet eine direkt integrierte Schnittstelle statt, sodass gleich ein analytisches Modell im Statikprogramm aus dem System von Tekla Structures gebildet wird. Im Kapitel 5 wird sich ausführlich mit dem Datenaustausch und den Schnittstellen zwischen CAD- sowie Modellierungsprogrammen und Statikprogrammen beschäftigt. [23]

### 3.2.4 Herausforderungen und Anforderungen

Zwar steckt BIM für viele Anwender noch in den Kinderschuhen, aber in nächster Zeit erwächst es auch denen. Denn die Zukunft heißt nun mal Building Information Modeling und stellt eine neuartige Arbeitsmethode dar, die allerdings auch einige Herausforderungen mit sich bringt.

Der Erfolg einer BIM-basierten Planung hängt hauptsächlich von 4 Faktoren ab: [3]

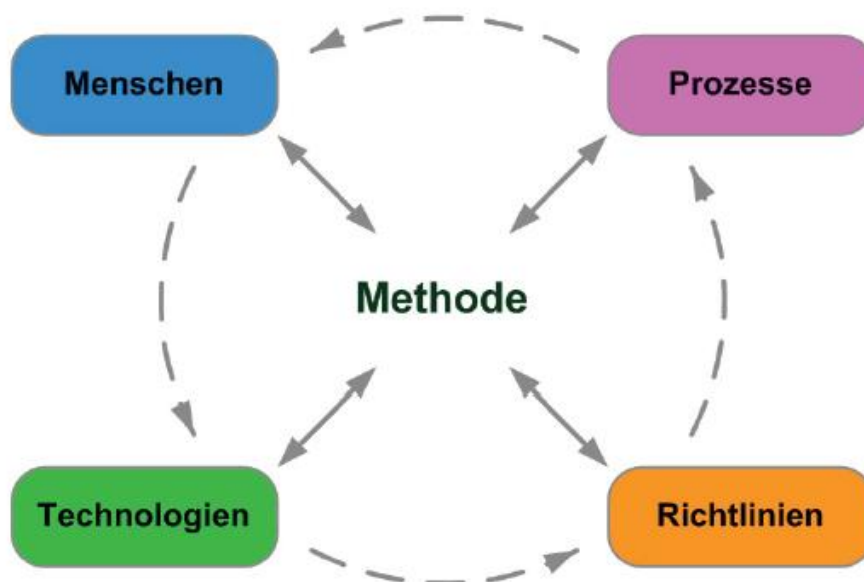


Abb. 3.6 Faktoren für eine effektive BIM-Planung [4]

### **1. Menschen**

BIM fordert in seiner effektiven Anwendung einen hohen Grad an Fachwissen und Erfahrung. Die Projektteilnehmer werden zu gemeinschaftlichen Handeln und Denken aufgerufen, sodass ein diszipliniertes, strukturiertes und Gewerke übergreifendes Arbeiten ermöglicht wird. Des Weiteren sollen sie sich interdisziplinäres Wissen aufbauen sowie neuer Technik gegenüber aufgeschlossen sein. Das Ziel ist eine partnerschaftliche Zusammenarbeit, losgelöst vom Konkurrenzgedanken und der isolierten Betrachtungsweise der Projektteams.

### **2. Technologie**

Die Anforderungen an die Programme und die erforderliche EDV-Ausstattung wachsen. Aufgrund der reinen Funktionalität einzelner Gewerke unterstützen zu müssen, sollte ebenfalls ein möglichst verlustfreier Austausch von Daten durch neue offene Schnittstellen ermöglicht werden.

### **3. Prozesse und Strukturen**

BIM ist Teil eines Veränderungsprozesses und dies stellt sich auch als Herausforderung für die Unternehmen dar. Sie müssen in der Lage sein, sich zu verändern, Innovationen und Ideen akzeptieren und ausbauen sowie ihre bisherigen Strukturen und Arbeitsprozesse entsprechend der Veränderungskultur in der Planung anpassen. Somit rückt die Kommunikation und Zusammenarbeit durch die nun zentrale Verwaltung von Informationen mehr in den Vordergrund. Daher wird eine zunehmend disziplinierte und kontinuierliche Arbeit erforderlich.

### **4. Richtlinien**

Aktuell gibt es keine allgemein gültige BIM-Richtlinie in Deutschland. Dies erschwert den öffentlichen Zugang zu Projektinformationen und schränkt den Datenaustausch aufgrund von Haftung und Rechtsunsicherheiten stark ein. Daher ist eine Lösung anzustreben, die gemeinsame Ziele und Regeln für eine erfolgreiche Zusammenarbeit der Projektbeteiligten definiert. Dazu zählt neben der Klärung des Eigentums der zentral verfügbaren Informationen auch die Haftung für die Richtigkeit der jeweiligen Modelle vor deren Weitergabe. Zusätzlich sollte geklärt werden, welche Verantwortung die einzelnen Beteiligten tragen und wie bestimmte Informationen untereinander ausgetauscht werden. Infolgedessen muss ein Fokus auf die Entwicklung von gemeinsamen Richtlinien, Normen und Standards gelegt werden,

sodass sich die Beteiligten bei der Bearbeitung von BIM-Projekten besser orientieren können.

Abschließend ist der Weg zur digitalisierten Planungsmethode ein Prinzip des Forderns und Förderns. So sind es vor allem die öffentlichen Auftraggeber und Behörden, die einen entscheidenden Anteil bei der Umsetzung einer BIM-Strategie und der Einführung von BIM-Richtlinien haben, entsprechend gefordert. Ebenfalls besteht dringender Handlungsbedarf in der Aus- und Weiterbildung an Hochschulen und Fachakademien, die das grundlegende Verständnis sowie die Zusammenhänge in der BIM-Methodik vermitteln und fördern sollten. [3] [4]

Die vorangegangenen Technologiesprünge lassen es vermuten, dass die Baubranche zukünftig mit der Planungsmethode BIM arbeiten wird. So liegt die Verantwortung an allen Teilnehmenden sich an dieser Technologie zu beteiligen und einen kleinen Teil zur Digitalisierung Deutschlands im Bauwesen beizutragen.

## 4 BIM und Tragwerksplanung

Durch den zunehmenden Einsatz der BIM-Methode fällt auch der Tragwerksplanung eine besondere Rolle bei der Planung und Erstellung von Bauwerken zu. Hierbei ergeben sich für die Tragwerksplaner neue Möglichkeiten und Vorteile, da ein bereits vom Architekten erstelltes dreidimensionales Gebäudemodell weiter für statische Berechnungen genutzt werden kann. Auf der anderen Seite ergeben sich auch Herausforderungen, die geklärt und gelöst werden müssen, damit eine möglichst reibungslose statische Analyse von Tragwerken vorgenommen werden kann.

### 4.1 Technologische Grundlagen

#### 4.1.1 3D-Modellierung

Das Grundkonzept des BIM besteht hauptsächlich in der dreidimensionalen Modellierung von Bauwerken. Dabei gibt es zwei verschiedene Verfahren zur Beschreibung von Volumenmodellen. Das explizite Verfahren, bei dem die Boundary Representation (BREP) die gängigste Methode ist, dient der Beschreibung von dreidimensionalen Körpern über seine begrenzenden Oberflächen. Es werden daher nur die Begrenzungsflächen und gegebenenfalls Verknüpfungspunkte (zum Schließen von Volumen) definiert. Die Methode Constructive Solid Geometry (CSG) stellt dagegen ein implizites Verfahren dar. Hierbei werden geometrisch sehr einfache Grundkörper wie Würfel und Zylinder mithilfe von booleschen Operationen miteinander kombiniert. [5]

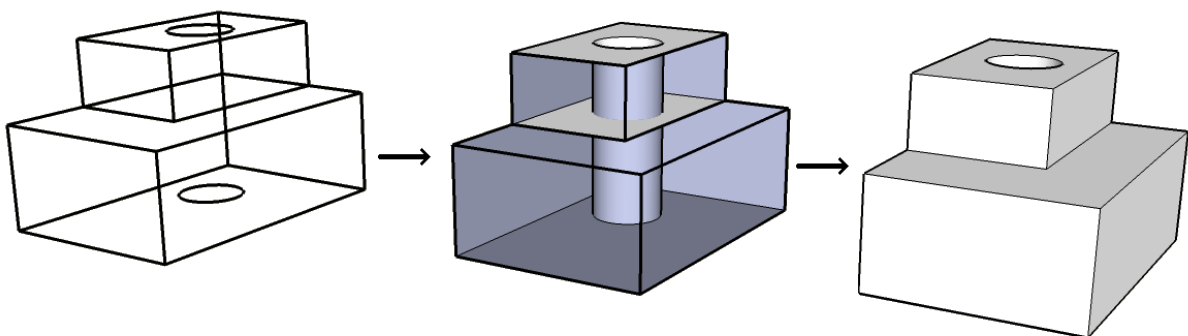


Abb. 4.1 Explizites Verfahren: Boundary Representation (BREP) – Methode [24]

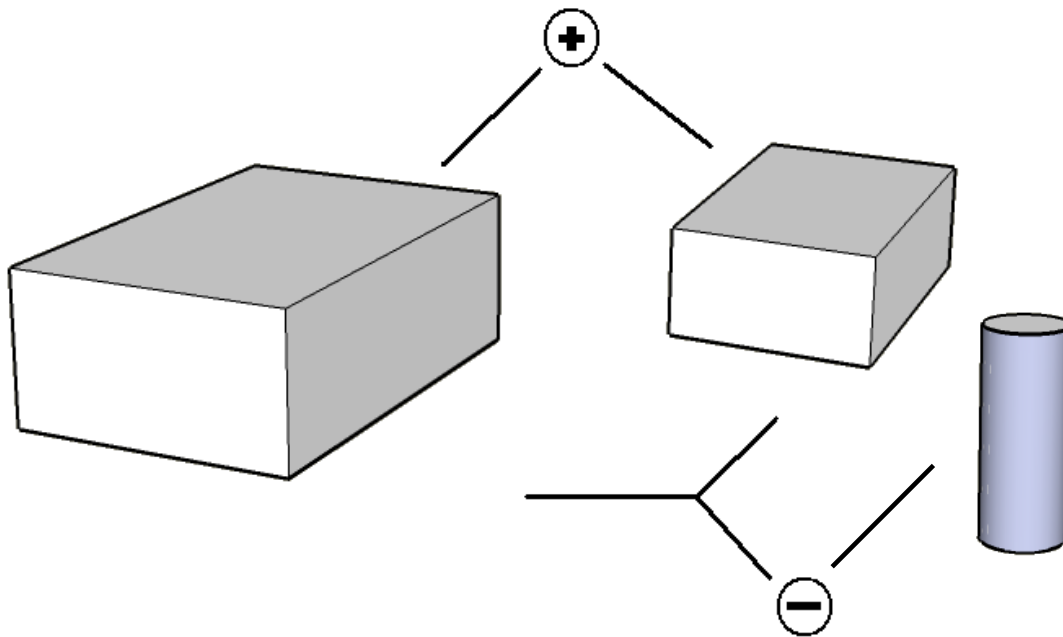


Abb. 4.2 Implizites Verfahren: Constructive Solid Geometry (CSG) – Methode [24]

Nahezu jede BIM-Applikation unterstützt die parametrische Modellierung. Sie erlaubt es, geometrische Modelle mit Parametern zu versehen, die durch Abhängigkeiten, Bedingungen und Regeln festgelegt sind. Als Parameter können beispielsweise die Höhe, Breite, Länge, Position und Ausrichtung eines Würfels genutzt werden. Zusätzlich werden bei der parametrischen Modellierung den Bauteilen Objektklassen zugeordnet, denen auch Eigenschaften hinzugefügt werden können. So ist zum Beispiel eine „Wand Untergeschoss“ dem Untergeschoss zugeteilt und passt sich dann an, wenn die Höhe des Untergeschosses geändert wird. [5]

Mit der zunehmenden Wichtigkeit der dreidimensionalen geometrischen Modellierung nimmt auch die objektorientierte Modellierung (OOM) an Bedeutung zu. Hier werden semantische Informationen verarbeitet, wie zum Beispiel Angaben zum Herstellungsverfahren, zu Materialien und zu Gewerken. Mithilfe von Objekten und Klassen sowie Attributen werden physikalisch existierende Dinge, wie tragende Bauteile (Decke, Wand, Stütze) aber auch rein begriffliche Sachverhalte, wie Räume, Geschosse und Lasten beschrieben. [5]

## 4.1.2 Physikalisches Strukturmodell und idealisiertes Analysemodell

In der Tragwerksplanung werden zwei verschiedene Modelle benötigt, die miteinander in Bezug stehen. Dies sind zum einen das physikalische Geometriemodell und zum anderen das analytische Modell.

Das physikalische Strukturmodell besteht aus den Geometrien eines jeden einzelnen Bauteils. Dabei werden die Bauteile als Volumenkörper dargestellt mit Typ, Dicke, Material und weiteren Eigenschaften, die in die BIM-Applikationen eingegeben werden können. So ist ein Stahlbetonunterzug ein dreidimensionaler Körper, der durch die Schalung seine geometrische Form bekommt. [5]

Dem gegenüber steht das idealisierte Analysemodell. Es repräsentiert ein geometrisch vereinfachtes Modell des Bauteils oder Bauwerks, das die Grundlage für die Berechnung von Spannung und Verformungen ist. Dabei behelfen sich Ingenieure mechanischer Modelle, sodass beispielsweise Stahlbetondecken und Träger als Flächen bzw. Stäbe/Linien idealisiert werden. Ein Stahlbetonunterzug besteht nun aus einem Stab bzw. Linie mit Querschnitts- und Materialeigenschaften sowie Randbedingungen und Belastungen. [5]

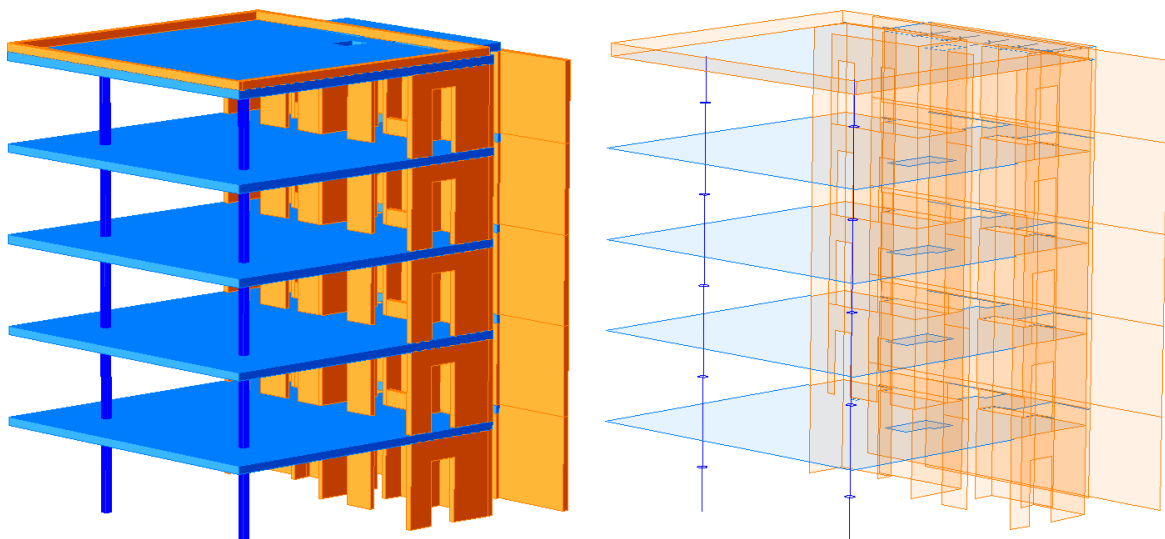


Abb. 4.3 Physikalisches Volumenmodell (links) und statisches Analysemodell (rechts) [25]

### 4.1.3 FEM – Finite Elemente Methode

Zwar ist die Finite Elemente Methode nicht elementarer Bestandteil der BIM-Methode, gewinnt aber in der Berechnung von dreidimensionalen zunehmend an Bedeutung. Die FEM ist ein computerorientiertes numerisches Verfahren basierend auf dem Weggrößenverfahren. Dabei wird das reale Tragwerk in ein Netz von endlichen (finiten) untereinander verbundenen Teilen (Elemente) zerlegt, die an ihren Knotenpunkten miteinander verbunden sind. Für jedes Element wird eine Elementsteifigkeitsmatrix gebildet und anschließend unter Berücksichtigung der Gleichgewichtsbedingungen eine Gesamtsteifigkeitsmatrix. Die Lösungen des Gleichungssystems bestehend aus der Gesamtsteifigkeitsmatrix und den Lastvektoren ergeben die jeweiligen Verschiebungsgrößen, aus denen sich die Schnittgrößen ermitteln lassen können. Das Verfahren eignet sich für die Berechnung von Schnittgrößen, Verformungen und Spannungen von Stäben, Platten, Scheiben und Schalen. Auch für Stabilitätsuntersuchungen sowie nichtlineare und dynamische Berechnungen kann es hergenommen werden. [26]

Ohne tiefer in das Grundprinzip und die Theorie der FEM einzugehen, werden hier auf folgende Literaturen [26] [27] [28] [29] verwiesen, die sich mit der baupraktischen Anwendung der FEM auseinandersetzen wie der Modellbildung und häufigen Fehlerquellen.

Die computerbasierte Berechnung mittels FEM erleichtert die Arbeit der Ingenieure um ein Vielfaches. Trotzdem verleitet es vor allem junge Tragwerksplaner den Statikprogrammen zu sehr zu vertrauen und die Ergebnisse zu wenig zu hinterfragen. Letztendlich ist es die Aufgabe des Ingenieurs, die Ergebnisse der Programme richtig zu bewerten und deshalb sind bei allen statischen EDV-Berechnungen Kontrollen und Dokumentation stets durchzuführen. Zu den wohl wichtigsten Kontrollen einer FE-Berechnung gehören die Gleichgewichtskontrollen anhand der Auflagerkräfte, grafische Verformungskontrollen und Plausibilitätskontrollen von Schnittgrößenverläufen dazu. Abschließend muss immer eine ingenieurmäßige Einschätzung und Bewertung des kompletten Tragwerks vorgenommen werden. [27]



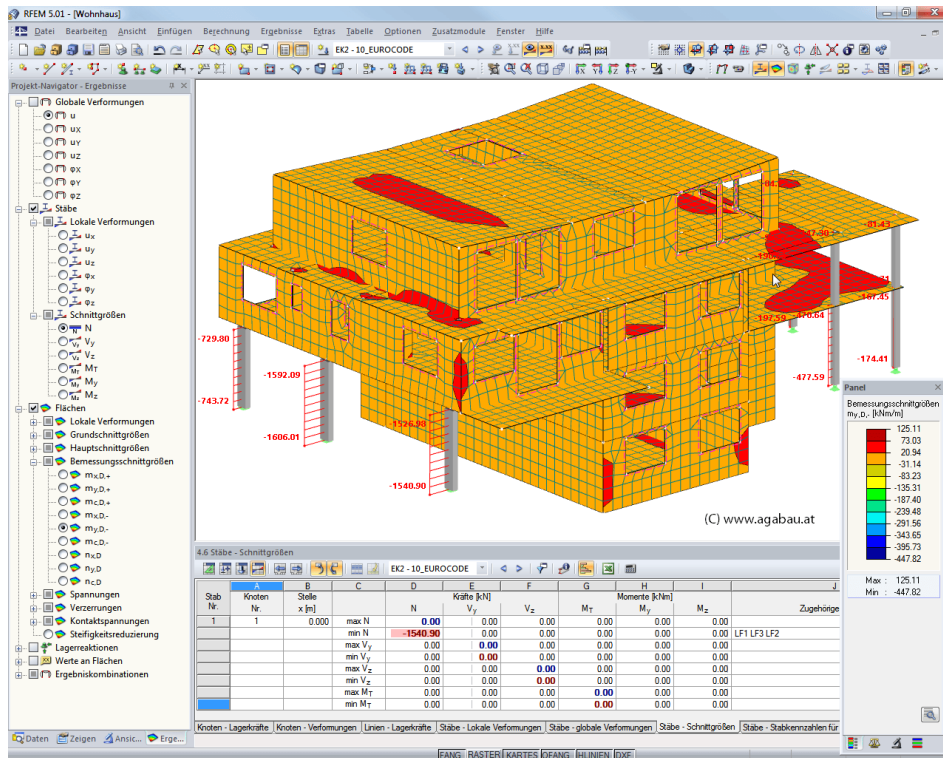


Abb. 4.4 Statisches FEM-Modell in RFEM von Dlubal Software [30]

## 4.2 Planungsablauf und Workflow in der statischen Berechnung von Bauwerken

Die herkömmliche Planungsweise der Tragwerksplaner orientiert sich an den Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2013). Besonderer Fokus liegt jetzt anstatt der Einlesung und Neueingabe von zweidimensionalen Architektenpläne mehr auf der Übernahme des dreidimensionalen Gebäudemodells des Entwurfverfassers.



Abb. 4.5 BIM-Workflow in der Tragwerksplanung angeboten von der SO-FiSTIK AG [34]

Die Leistungsphasen der Tragwerksplanung gemäß HOAI gliedern sich folgendermaßen auf:

1. Grundlagenermittlung
2. Vorplanung
3. Entwurfsplanung
4. Genehmigungsplanung
5. Ausführungsplanung
6. Vorbereitung der Vergabe

Während BIM auf die Grundlagenermittlung und die Vorbereitung der Vergabe eher wenig Einfluss hat, wird daher der Augenmerk auf die restlichen Planungsphasen gelegt. Hier wird zunächst auf die allgemeine Aufgabenstellung der Tragwerksplaner und deren durch BIM veränderte Vorgehensweise eingegangen. Danach werden jeweils die zu lösenden Herausforderungen und potentiellen Chancen herauskristallisiert.

### 4.2.1 Vorplanung und Entwurfsplanung

Ein wesentlicher Unterschied in der Tragwerksplanung mittels der BIM-Arbeitsweise liegt in der Vor- und Entwurfsplanung. In diesen Phasen werden neben der Entwicklung eines statisch-konstruktiven Konzepts auch eine überschlägige statische Berechnung und Bemessung des Tragwerks durchgeführt. Die Hauptaufgabe des Fachingenieurs besteht nun darin, aus dem bereits vom Architekten erstellten physikalischen Strukturmodell ein analytisches Modell zu bilden. Da in der Baustatik nahezu alle tragenden Bauteile idealisiert werden, erscheint die Reduzierung von Volumenmodelle auf Stäbe und Flächenelemente als sinnvoll. Durch weitere Eingaben wie Belastungen, Lastfälle und Einwirkungen sowie Auflagerbedingungen lassen sich zudem Schnittgrößen und Verformungen für die Bemessung ermitteln, auf die sich auch die aktuellen Normen beziehen. Aufgrund der vorgenommenen Idealisierungen und Vereinfachungen lässt sich in Statikprogrammen eine schnellere statische Analyse wegen beschränkten Rechenkapazitäten gewährleisten. [5]

#### 4.2.1.1 Herausforderungen

Eines der größten Herausforderungen ist die Frage nach der Lage der Schwerachse von Bauteilen, die durch die Reduktion auf Stäbe bzw. Flächen verursacht wird. Tragende Elemente wie Stützen, Unterzüge und Träger sowie Decken und Wände werden durch Linien/Stäbe und Flächen idealisiert. Der Anschluss von Stützen und Decken wird in Statik-Programmen insofern erschwert, weil durch unterschiedliche Bauteilhöhen keine konsistenten, in einem Punkt verbundene Schwerlinienmodelle entstehen können. Diese müssen im Nachhinein weiter angepasst und modifiziert werden, um als analytisches Rechenmodell dienen zu können. Beispielsweise liegt auf einer Wand eine weitere darüber liegende Wand auf, die jedoch eine andere Dicke aufweist und somit nicht über die gleiche Bauteilachse verfügt wie die darunter liegende Wand. Folglich würden Berechnungsprobleme im statischen Analysemodell auftauchen. [31]

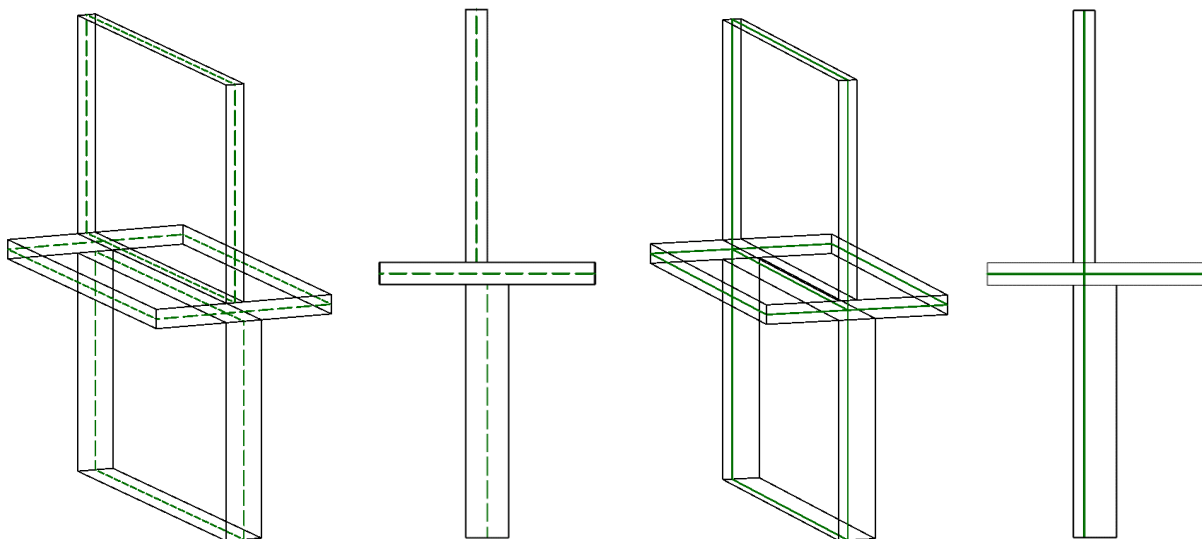


Abb. 4.6 Systemlinien von Wänden und Decken sowie deren Idealisierung [44]

Es kann vorkommen, dass bei Übergängen von Flächen zu Stabelementen in FE-Modellen gewisse Hilfskonstruktionen notwendig werden. Beispielsweise tritt dies relativ häufig bei Unterzügen bzw. Plattenbalken auf, die auf mehreren Wänden und Stützen aufliegen. Somit erfordern diese Hilfskonstruktionen eine manuelle Nacharbeit von importierten Strukturen, sodass das BIM-Modell und das Analyse-Modell weiter auseinander gehen und eine Zuordnung zusammengehöriger Bauteile in den Anwenderprogrammen unterschiedlicher Disziplinen erheblich erschwert wird. So muss ein Stahlbetonunterzug über mehrere Felder im Statikprogramm in seinen jeweiligen Stützweiten geteilt werden, sodass für jedes Feld ein analytischer Stab entsteht, während der

Architekt in seinem CAD-Programm den Unterzug als ein ganzes Bauteil betrachtet und somit keine Teilungen vornimmt. [31]

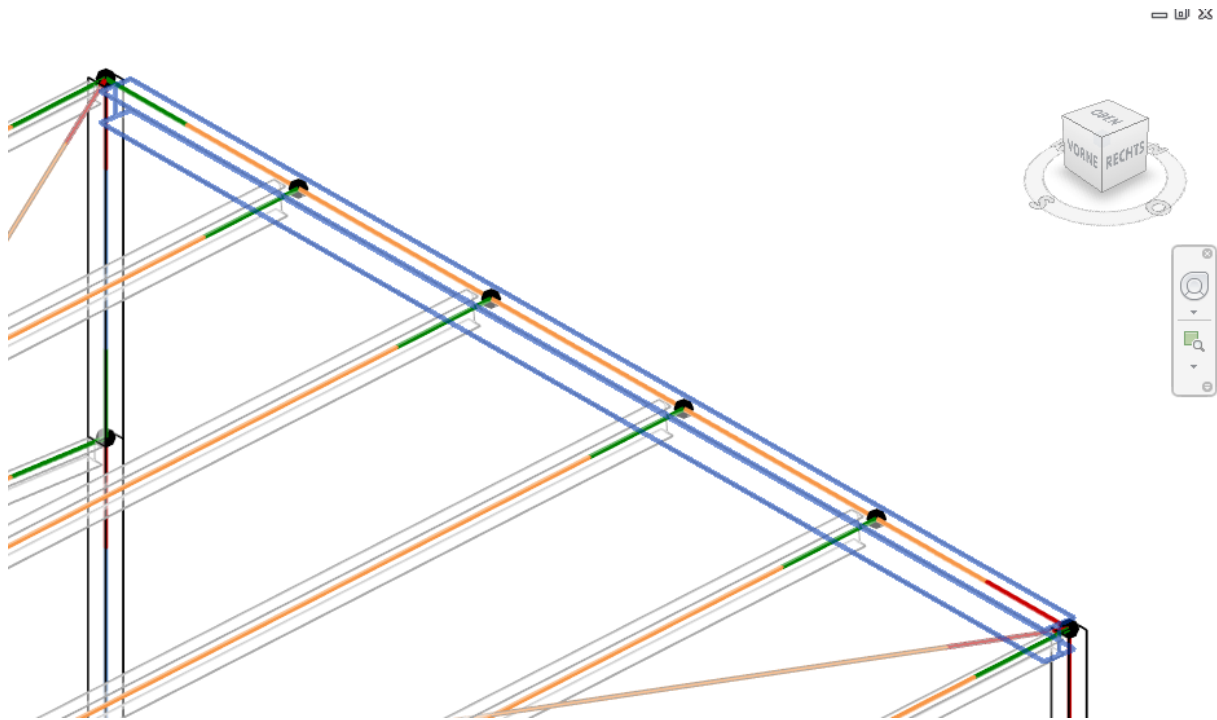


Abb. 4.7 Unterschiede im BIM-Modell und Statikmodell: Querträger beschreibt ein physikalisches Bauteil. Im Statikmodell werden daraus fünf analytische Stäbe. [31]

Einige BIM-Applikationen erlauben es Lasten und Lastkombinationen an die Statik-Programme zu übergeben. An sich ist es zunächst einmal ein Vorteil, da somit Informationen weitergegeben werden und eine Neueingabe vermieden wird. Trotzdem sind die statischen Softwaretools aufgrund ihrer Erfahrung besser geeignet als die Architekturprogramme für die Bildung von Lastfällen, Lasten und Lastkombinationen. Somit ist die Lasteingabe und Kombinatorik in Statikprogrammen zu bevorzugen, auch wegen des Datenaustausches in ein BIM-Modell. Häufig gehen dabei die der automatischen Generierung zugrunde liegenden Parameter verloren, sodass die Intelligenz der Belastungen auf Bauwerke bei weiteren Änderungen fehlt. [31]

Daher ist es die Aufgabe des Tragwerksplaners durch ingenieurmäßige Annahmen eine sinnvolle Lösung zu finden. Jeder Baustatiker sollte sich deshalb mit folgenden Fragen auseinandersetzen:

- Wo und wie sollen die Systemlinien liegen? Müssen Idealisierungen vorgenommen werden? Sind diese bereits durch ein Architekturprogramm erzeugt worden?

- Wie werden gewisse Stab- und Flächenexzentrizitäten behandelt? Müssen diese bei der Berechnung berücksichtigt werden oder sind sie vernachlässigbar?
- Wie wirkt sich eine Verkürzung oder Verlängerung von Systemlinien auf die Belastung aus (Eigengewicht, Linienlasten, Flächenlasten etc.)?
- Sind die Anschlüsse von Stäben und Flächen gelenkig, biegesteif oder nachgiebig? Wie wirkt sich das auf das Tragverhalten aus?
- Welche Stellen sind als Auflager mit welchen Lagerungsbedingungen aufzufassen? Wird ein starres oder ein nachgiebiges Auflager mit Federsteifigkeiten (Bettungsmodul) ausgebildet?
- Sind alle erforderlichen Lastkombinationen für die Bemessung gebildet worden? Sind alle Lasten und Lastfälle berücksichtigt worden?
- Ist die automatische Erstellung eines analytischen Modells sinnvoll, insbesondere bei komplexen Tragwerken? Welche Vorteile und Nachteile sind dabei verbunden? Sollte der Mehraufwand einer eigenen Eingabe in Kauf genommen werden?
- Welche Informationen werden übernommen? Sind tragende Bauteile beim Import des BIM-Modells vergessen worden? Sind ausreichend Plausibilitätskontrollen vorgenommen worden?

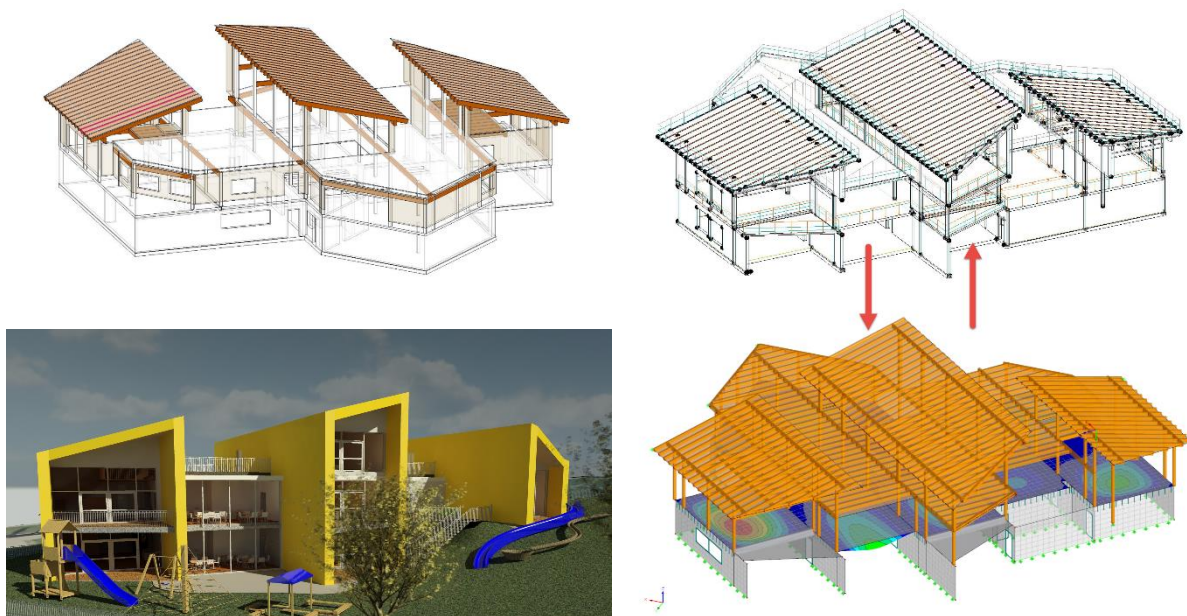


Abb. 4.8 Beispiel für eine digitale BIM-gestützte Planung: Kindergarten in Schwoich, Österreich (© AGA-Bau) [30]  
Oben links: Physikalisches Revit-Modell; Unten links: Visualisiertes 3D-Modell des Kindergartens; Oben rechts: Analytisches Revit-Modell; Unten rechts: RFEM-Modell

### 4.2.1.2 Chancen und Möglichkeiten

Mittlerweile verfügen einige BIM-Applikationen wie Autodesk Revit und Tekla Structures beim Aufbau ihrer Bauwerksmodelle ein Tragwerksmodell mit zu erzeugen. Für Standardbauteile wie Decken, Wände, Stützen oder Balken kann hier ein analytisches Modell automatisch erstellt werden. Hierbei hat der Anwender die Möglichkeit die Verschneidung der Systemlinien von tragenden Bauteilen selber zu definieren. Zudem wird durch Anpassungen des Berechnungsmodells das geometrische Modell nicht geändert. Dies bietet den Vorteil, dass einmal ein richtig definiertes statisches Tragwerkssystem im Idealfall ohne weitere Probleme in Statikprogramme wie RFEM, SOFiSTiK und Scia eingebunden werden kann. Dies verschafft dem Fachingenieur eine erhebliche Zeitersparnis bei der Eingabe seines statischen Berechnungsmodells und ermöglicht ihm eine Verringerung von Planungs- und Übernahmefehler aufgrund der steigenden Qualität des physikalischen Architekturmodells. [5]

Im nahezu jeden Architekturprogramm lassen sich in einer Datenbank Materialien und geometrische Größen vordefinieren. In einigen BIM-Applikationen sind diese Materialdatenbanken sogar beinahe deckungsgleich mit den Bemessungsprogrammen, so dass ein fehlerfreier Export zur Statik-Software garantiert wird. Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Arbeitsprozesses ist der bidirektionale Datenaustausch zwischen den Architektur- und Statikprogrammen. Nachdem eine statische Berechnung und Bemessung des Tragwerks stattgefunden hat, werden bei gegebenen Querschnitts- und Materialveränderungen diese wieder in die BIM-Applikationen übernommen. Dies vermindert den Arbeitsaufwand erheblich und ermöglicht eine bessere Transparenz und Zusammenarbeit zwischen den Fachplanern. Des Weiteren geht beim Datenaustausch die Intelligenz der Objekte nicht verloren. Ist einmal eine Stütze oder ein Träger bereits erstellt worden, erhält der Anwender wieder ein gleichwertiges Objekt in den Statikprogrammen und nicht nur eine Ansammlung von Linien und Knoten. [31]

Voraussetzung für ein gutes Tragwerksmodell und daraus abgeleitete statische Analysemodell ist jedoch, dass der BIM-Anwender entsprechende Erfahrungen im Bereich der Statik aufweisen sollte. Somit sollten in der frühen Planungsphase beim Aufbau des Modells tragwerksspezifische Aspekte berücksichtigt werden, was bei einer traditionellen Arbeitsteilung zwischen Architekt und Statiker nicht immer gegeben ist. Dies ist auch ein häufiger Grund, warum der Datenaustausch und folglich auch der BIM-

Workflow ins Stocken geraten. Schließlich wird der Architekt auch nicht für die Erstellung eines Tragwerksmodells bezahlt. Deshalb ist eine aktive Kooperation der beiden Fachplaner anzustreben sowie die frühe Einbeziehung des Statikers in der Planung eines Gebäudes für einen erfolgreichen BIM-Prozess. [31]

### 4.2.2 Genehmigungsplanung

In dieser Leistungsphase findet die Aufstellung der prüffähigen statischen Berechnungen unter der Berücksichtigung der vorgegebenen bauphysikalischen Anforderungen. Nebenbei müssen Positionspläne angefertigt werden, während anschließend die erforderlichen Unterlagen für die bauaufsichtliche Genehmigung zusammengestellt werden. Der Tragwerksplaner befasst sich dabei hauptsächlich mit der Berechnung seines Statikmodells. Diese kann er an einem Gesamtmodell oder auch an Teilmodellen durchführen. Neben der Nachweise der Gesamtstabilität und dynamischen Nachweise setzt sich der Baustatiker auch mit der Untersuchung der einzelnen tragenden Bauteile auseinander. Die Schnittgrößen für die anschließende Bemessung der Tragglieder werden meistens aus den Berechnungsmodellen entnommen und werden separat in Einzelprogrammen berechnet. [5]

#### 4.2.2.1 Herausforderungen

Um die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, muss im Rahmen einer statischen Berechnung entschieden werden, welche Berechnungstheorie und Materialmodelle verwendet werden. Diese haben nämlich großen Einfluss auf die Berechnung der Ergebnisse. Nichtlineare Berechnungen beeinflussen ebenfalls die Stabilität von Tragwerken und sind somit sorgfältig zu überprüfen. Der Zeitfaktor spielt in der Statik ebenfalls eine große Rolle. So können kleine Planungsänderungen zu hohem Aufwand in statischen Gesamtmodellen führen. Nach der Berechnung kann es durchaus vorkommen, dass aufgrund der Bemessung Querschnitte geändert, Bauteile hinzugefügt oder Materialien angepasst werden müssen. Der klassische BIM-Gedanke würde erfordern, dass diese Änderungen und Annahmen auch in dem zentralen BIM-Modell übernommen werden. Momentan ist dies aber nicht realisierbar und wird auch in den üblichen Schnittstellen nicht oder nur teilweise unterstützt, wobei die Intelligenz der Objekte verloren geht. [3]

Im Rahmen einer statischen Berechnung mittels der BIM-Methode lässt sich anhand eines BIM-Modells ein dreidimensionales Finite-Elemente-Modell für die Tragwerksanalyse ableiten. Dabei hängt das Tragverhalten insbesondere im Grenzzustand der Tragfähigkeit von den Steifigkeitsverhältnissen der lastabtragenden Bauteile ab. Dabei bleiben beispielsweise die Steifigkeiten von Stützen einer zweidimensionalen Platte gleich, während sich die Steifigkeiten der Stützen über mehrere Geschosse aufgrund der Stauchung des Gebäudes verändern. In der Praxis wird häufig nur an einem 3D-Gesamtmodell die statische Analyse durchgeführt, während die Einflüsse der Baugeschichte, also die Berücksichtigung von Bauphasen (Stockwerk für Stockwerk) unberücksichtigt bleiben. Gerade der Einfluss dieser Bauphasen weist verglichen mit den Ergebnissen der herkömmlichen zweidimensionalen Lastabtragung und der eines dreidimensionalen FE-Modells wesentliche Unterschiede auf, die nicht zu vernachlässigen sind. Folgende Literaturen [26] [32] [33] befassen sich genauer mit der Tragwerksplanung an Gesamtmodellen. [32]

Für den Tragwerksplaner ist es somit zwingend erforderlich, sich mit den im 3D-Berechnungsmodell auftretenden Effekten auseinanderzusetzen sowie deren Auswirkungen mittels Neben- und Vergleichsrechnungen kritisch zu überprüfen und zu hinterfragen. Diese Effekte sind einerseits das 3D-Eingussmodell sowie auf der anderen Seite die Berechnung des Gesamtmodells unter Berücksichtigung der Bauphasen. Unter Umständen können auch noch zeitabhängige Effekte wie Kriechen und Schwinden berücksichtigt werden genauso wie die Interaktion zwischen Boden und Gebäude. Zudem gilt es abzuwägen, ob sich dieser Mehraufwand überhaupt lohnt, sodass nur ein Vergleich der Berechnungsarten eine ingenieurmäßige Beurteilung der Varianten erlaubt. Auch wenn in einem BIM-Prozess an einem 3D-Gebäudemodell geplant wird, heißt es nicht automatisch, dass auch eine statische Analyse an diesem 3D-Modell stattfindet. Oft werden nämlich einzelne Statikpositionen aus einem BIM-Gesamtmodell herausgelöst und diese separat berechnet. Überdies muss jedem Statiker bewusst sein, dass die Kontrolle und Überprüfung von Ergebnissen an Gesamtmodellen wesentlich schwieriger sind. [26]



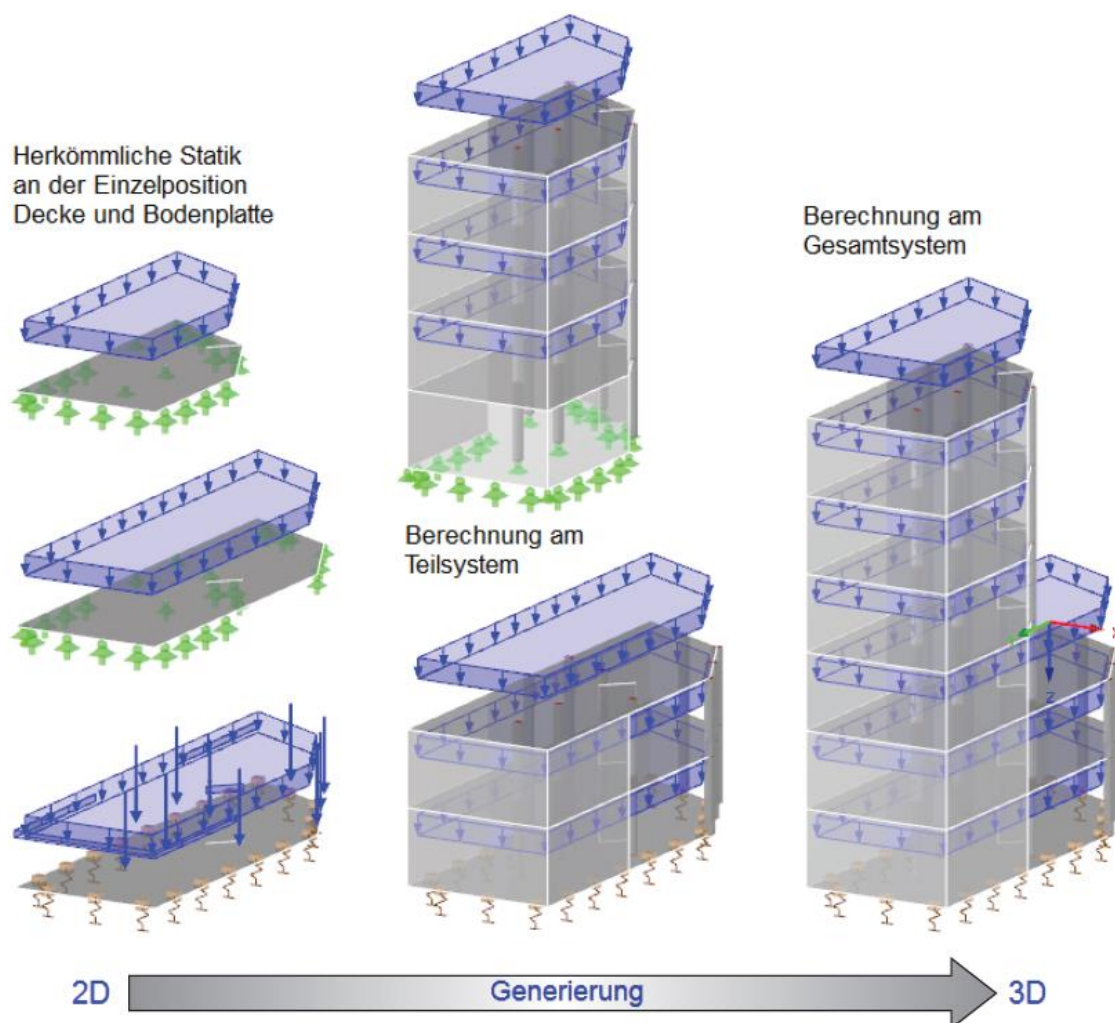


Abb. 4.9 Statische Berechnungen an Teil- und Gesamtsystemen [26]

Durch den Technologiefortschritt im Bereich der Statik-Software neigen immer mehr Ingenieure dazu, die Richtung weg vom Bleistift hin zur Maus zu wählen. Eines muss aber jedem Planungsbeteiligten in einem BIM-Prozess bewusst sein. Software ist nur ein Werkzeug bzw. Hilfsmittel für die Planung von Gebäuden. Sie ersetzt keinesfalls das menschliche Gehirn sowie das ingenieurmäßige Verständnis eines Tragwerks. Deshalb bedarf es schon bereits zu Projektbeginn einer guten Modellierung, einer kritischen Interpretation der Ergebnisse und gegebenenfalls einer Ausbesserung des Modells. Somit sollten bei der Berechnung von Tragwerken folgende Fragen geklärt werden:

- Welche Berechnungstheorie und welche Materialmodelle werden zugrunde gelegt? Reicht Theorie I. Ordnung aus oder sollten die Schnittgrößen an verformter Struktur mit Berücksichtigung von kleinen Verformungen (Theorie II. Ordnung) berechnet werden? Wie sollten sich die Baustoffe verhalten? Linear oder nichtlinear?

- Ist eine Berechnung am Gesamtmodell unter Berücksichtigung von Bauphasen zu bevorzugen? Oder reicht auch die Berechnung an abschnittsweisen Teilmodellen aus?
- Wie werden die Umlagerungen infolge Bauzuständen beurteilt? Verfügen die Programme überhaupt über solche Funktionen?
- Soll das dreidimensionale BIM-Modell bei der Tragwerksanalyse in Teilmodelle zerlegt werden? Oder führt die statischen Berechnungen an einem Gesamtmodell durch? Wie werden dabei die Ergebnisse am besten dokumentiert, damit es eine prüffähige Statik ergibt?
- Werden einzelne Bauteile im selben Programm durch eventuelle Zusatzmodule nachgewiesen oder werden lediglich die Schnittgrößen für die Bemessung übernommen, die in externen oder auch selbst programmierten Statikprogrammen stattfinden?
- Wie werden Singularitäten bei Platten und Scheiben behandelt? Sollen Netzverfeinerungen benutzt werden oder sollen die Ergebnisse an Singularitätsstellen vernachlässigt werden? Wie werden Singularitäten am besten vermieden oder minimiert?
- Wie wird die Torsion berücksichtigt? Wird sie überhaupt berücksichtigt?

### 4.2.2.2 Chancen und Möglichkeiten

Der Einsatz der BIM-Methode eignet sich hervorragend für die Tragwerksplanung im üblichen Hochbau. Während der Stahl- und Holzbau aufgrund des einfachen Datenaustausches zwischen CAD- und Stabwerksprogrammen nahezu prädestiniert für diese Arbeitsmethode sind, rückt die Bedeutung von dreidimensionalen FE-Berechnungen im Stahlbetonbau immer mehr in den Vordergrund. Beinahe alle geometrischen Informationen sind in einem austauschbaren Format enthalten, sodass die Berechnungsmodelle mithilfe von nur wenigen Arbeitsschritten erstellt werden können. Somit lassen sich schneller verlässliche Tragwerke entwerfen und berechnen. Durch die einfache Ableitung eines Gesamtmodells zu einem 3D-FEM-Modell lassen sich auch automatisch Modelle für eine klassische Lastabtragung erzeugen. Der Lastabtrag wird dadurch vereinfacht und gleichfalls können an Ersatzsystemen Aussteifungs- und Erdbebenberechnungen erfolgen. Zudem sind die Tragwerksplaner flexibler in der Anpassung des Berechnungsmodells und können Positionspläne problemlos aus der Geometrie entnehmen und erstellen. [5]

Einige Statik-Programmersteller verfügen in ihren Softwaretools über implementierte Zusatzmodule, die es zulassen, Bauteile aus dem Gesamtsystem herauszunehmen

und separat zu bemessen. Die Schnittgrößen für die Bemessung der Tragglieder müssen daher nicht extra herausgesucht werden und wieder manuell in die dafür geeigneten Programme eingegeben werden. Stattdessen übernehmen dies die Programme, sodass erstens eine genauere und schnellere statische Analyse vorgenommen werden kann sowie zweitens diese Ergebnisse auch an das BIM-Modell übergeben werden können. So können zum Beispiel bei Fundamentnachweisen die Auflagerkräfte des Gesamtsystems übernommen werden und die so ermittelten Fundamentabmessungen in das BIM-Gesamtmodell übergeben werden. [30] [34]

### 4.2.3 Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung widmen sich die Ingenieure und Konstrukteure hauptsächlich der Erstellung von Schal- und Bewehrungsplänen. Die zeichnerischen Ausführungspläne von Detailelementen sowie die Darstellung von Konstruktionen inklusive Einbau- und Abweisungen zum Verlegen der Bewehrung werden angefertigt. Nebenbei werden auch Stahl- oder Stücklisten als Ergänzung mit aufgestellt. Der Anwender hat dabei die Möglichkeit Ansichten, Schnitte und 3D-Ansichten aus dem geometrischen Modell zu übernehmen und aufbauend darauf seine Pläne zu erstellen. Aus den berechneten Ergebnissen kann der Tragwerksplaner durch sogenannte Bewehrungsmodelle Bewehrungspläne ableiten. [5]

#### 4.2.3.1 Herausforderungen

Bei der Anfertigung von Schalplänen muss der Nutzer sich Gedanken machen, welche Schnitte und Sichten er auf den Plan darstellen will. Da in einem BIM-Prozess die Bemessungen bei einem Datenaustausch nicht enthalten ist, müssen diese zusätzlich ergänzt werden. Automatisch generierte Pläne müssen zudem immer wieder auf Plausibilität und Brauchbarkeit kontrolliert werden. Letztendlich müssen diese Pläne nicht nur die Ingenieure und Zeichner verstehen, sondern auch praxistauglich für die Bauarbeiter auf der Baustelle sein.

So ist zum Beispiel eine 3D-Darstellung der Bewehrung zwar eine tolle Sache, hilft bei der Verlegung der Bewehrung auf der Baustelle nur bedingt weiter. Bewehrungspläne stellen daher die Eisen nur symbolisch dar und sind aus diesem Grund auch so zu erzeugen, wie es die Beteiligten auf der Bauausführung gewohnt sind. Folglich dürfen nicht alle Eisen dargestellt werden nur weil es aus dem physikalischen Modell abge-

leitet wurde. Aus dem 3D-Modell abgeleitete 2D-Pläne sollen daher ständig nachbearbeitet und überprüft werden. [5]

#### 4.2.3.2 Chancen und Möglichkeiten

Die direkten Nutzungen aus dem geometrischen Tragwerksmodell ermöglichen den Ingenieuren und Konstrukteuren eine genauere Massenermittlung. Durch die einfache Ableitung aus dem Rohbaumodell lassen sich sämtliche Schal-, Positions- und Elementpläne erzeugen. Anhand der Berechnungsergebnisse und deren direkten Verwendung können ebenfalls die Bewehrungspläne einfach erstellt werden.

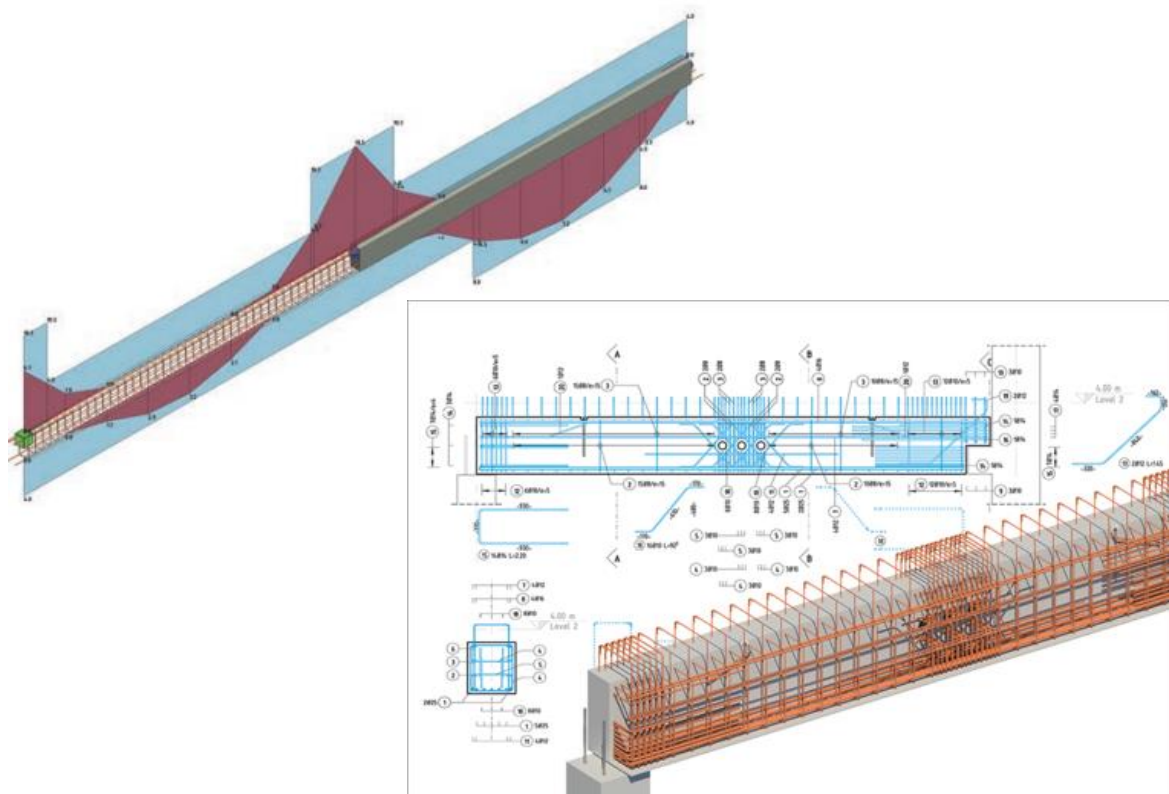


Abb. 4.10 Gegenüberstellung erforderliche und eingelegte Bewehrung in Revit sowie automatische generierter Bewehrungsplan mit 3D-Visualisierung [34]

Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die ständige Aktualität der Pläne. Wenn Änderungen am Gesamtmodell vorgenommen werden, geben die Pläne immer den aktuellsten Planungsstand wieder. Die beteiligten Fachplaner profitieren daher von einer präziseren geometrischen Genauigkeit, was auch die Qualität von Plänen erheblich steigert.

Eine neue Möglichkeit ist auch die Erzeugung von 3D-PDFs statt der herkömmlichen Nutzung von 2D-Plänen. Der Betrachter kann hier nicht nur die Blickrichtung frei wählen und sich die Sichtbarkeit von Bauteilen ein- und ausblenden lassen, sondern auch die Abrufung einzelner Informationen über die Bauteile sind möglich. Somit wird auf

den Baustellen eine ganz neue Art der Informationsübermittlung erschaffen, sodass digitale Pläne als 3D-PDF auf Tablets, wenn nicht sogar auf Datenbrillen angezeigt werden. Ob dies wirklich zukunftsweisend ist, dass Bauarbeiter mit Tablets und Datenbrillen ihre Arbeit verrichten, bleibt allerdings fraglich. [5]

### 4.2.4 Zusammenfassung

Als Zwischenresultat lässt sich zusammenfassen, dass die Bauplanung mittels der BIM-Methode für die Tragwerksplanung auf jeden Fall im Kommen ist. Sie hat sich zwar in den Köpfen der Ingenieure noch nicht so richtig festgesetzt, wird aber die Zukunft ihrer Aufgaben als Tragwerksplaner wesentlich beeinflussen.

Dabei lassen sich die Vorteile auf einer Hand abzählen. Es wird einerseits durch die bereits vorhandene Gebäudegeometrie eine Neueingabe für die Berechnungsprogramm vermieden, was eine erhebliche Zeitersparnis verschafft. Zudem steigt die Planungsqualität, während die Fehlerquote sinkt auch wegen der Konsistenz der Modelle zueinander. Für die Planer untereinander bedeutet dies auch eine bessere Abstimmung und Kommunikation. So lassen sich Kollisionen zwischen der Tragwerksplanung und der Haustechnik frühzeitig erkennen durch die Feststellung von Computerprogrammen. [31]

Auf der Gegenseite verbindet BIM aber auch ein Umdenken traditioneller Arbeitsweisen. So müssen Architekten und Ingenieure die Bereitschaft zeigen, ihre Planungsaufgaben als Teamwork zu verstehen und es akzeptieren, sich über BIM das nötige Wissen anzueignen. Diese herkömmlichen Planungsmethoden sind aber auch größtenteils der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure geschuldet. Die Bewertung der Leistungsphasen ist immer noch sehr stark auf traditionelle Planungsprozesse ausgelegt, sodass BIM nur als „Besondere Leistung“ (HOAI 2013) vergütet werden kann. Hier sollte sich dringend etwas ändern, damit mehr Ingenieure das große Potential einer BIM-Planung erkennen und den Mehraufwand in den Anfangsphasen eines Projekts in Kauf nehmen können. [21]

Abschließend bleibt anzumerken, dass BIM-Softwareapplikationen keinesfalls den Verstand eines Ingenieurs ersetzen. Sie helfen ihm lediglich als Werkzeug bei seiner Arbeit. Ziel ist es jedoch, in Zukunft mit dieser Technologie ein hochwertigeres Ergebnis in kürzerer Zeit zu erreichen.

## 5 Austauschszzenarien

Ist einmal in einem Architekturprogramm ein dreidimensionales Bauwerk mit weiteren Informationen erstellt worden, liegt es nahe, diese geometrischen sowie objektorientierte Informationen auch für die statischen Berechnungsprogrammen weiter zu verwenden. Dabei treffen die Ingenieure auf unterschiedliche Lösungen zum Austausch dieser Daten. Durch die zahlreichen Schnittstellen in den Statikprogrammen ist der Datenaustausch mit branchenüblicher Software (z. B. CAD-Programme) einfach und komfortabel möglich.

### 5.1 Direkte Schnittstellen

Direkte Schnittstellen ermöglichen eine direkte Kopplung zwischen CAD- und Statikprogrammen. Sie ermöglichen einerseits die Bildung eines statischen Analysemodells aus dem geometrischen Volumenmodells des CAD-Programms. Andererseits können sie auch bereits erstellte Informationen wie Querschnitte, Materialien und Auflagerdefinitionen übernehmen, sodass diese in den Statikprogrammen automatisch generiert werden und die Intelligenz dabei nicht verloren geht. Fachleute sprechen auch von einer nativen Schnittstelle. Es hängt von beiden Softwareherstellern ab, welche Informationen wie übertragen werden und mögliche Grenzen bei der Übergabe hervorkommen (erreicht werden, hervorgerufen) können. [35]

Programmhersteller bei denen diese Schnittstellen besonders gut ausgebaut sind:

- Dlubal Software RFEM / RSTAB zu Tekla Structures, Autodesk Revit und Autocad, Bentley ISM
- SOFiSTiK zu Autodesk Revit und Autocad
- SCIA Engineer zu Tekla Structures
- Frilo zu Allplan

### 5.2 Offene und indirekte Schnittstellen

Im Verlauf einer Planung, Errichtung und Betrieb eines Bauwerks wird eine Vielzahl von Softwareprogrammen benutzt. Nur sehr wenige kooperieren miteinander. So war bisher ein Austausch von Bauwerksmodellldaten nur über wenige, firmenspezifische Schnittstellen möglich. Da die Systeme nicht genormt und nicht kompatibel zueinander sind, machen sie einen offenen Datenaustausch nur schwer zugänglich. Aufgrund der Philosophie des Building Information Modelings vom fachübergreifenden Arbeiten aller

Beteiligten ist es notwendig, Interoperabilität zwischen den Softwareprodukten herzustellen. Dieser Begriff bedeutet, dass ein verlustfreier Datenaustausch zwischen den Programmen verschiedener Hersteller herrschen sollte. [5] [35]

### 5.2.1 IFC-Schnittstelle

Beim Austausch von Daten über neutrale und offene Dateiformate spielt das IFC-Format eine ganz besondere Rolle. Dieses herstellerunabhängige Austauschformat hat seinen größten Wert im Datenaustausch zwischen Software-Anwendungen verschiedener Gewerke.

IFC ist momentan der internationale und zertifizierte Standard, wenn es sich um das Speichern, Dokumentieren und Verwenden von BIM-Daten handelt. Es wird von der buildingSMART International entwickelt, gepflegt und betrieben. Die Organisation buildingSMART entwickelt offene Standards und Spezifikationen für die Arbeitsmethode BIM. Sie haben sich es als Ziel gesetzt, eine universelle Grundlage zum digitalen Informationsaustausch innerhalb der Bau- und Immobilienindustrie zu schaffen. [5]

#### 5.2.1.1 Struktur und Aufbau

Die Struktur der IFC-Datei basiert auf der Zuordnung objektorientierter Bauteile. Hierbei wird das Bauwerk in Bauteile, Räume und Geschosse aufgelöst und diese samt ihrer gegenseitigen Beziehungen beschrieben. Die Bauteile werden unterschiedlichen IFC-Klassen zugeordnet und erhalten verschiedene Eigenschaftswerte, die vom Anwender manuell hinzugefügt werden können. Eine weitere Verknüpfung über Beziehungsklassen mit anderen Objekten ist ebenfalls möglich. Exemplarisch wird auf Abbildung 5.1 eine typische IFC-Struktur einer Wand dargestellt. [36]

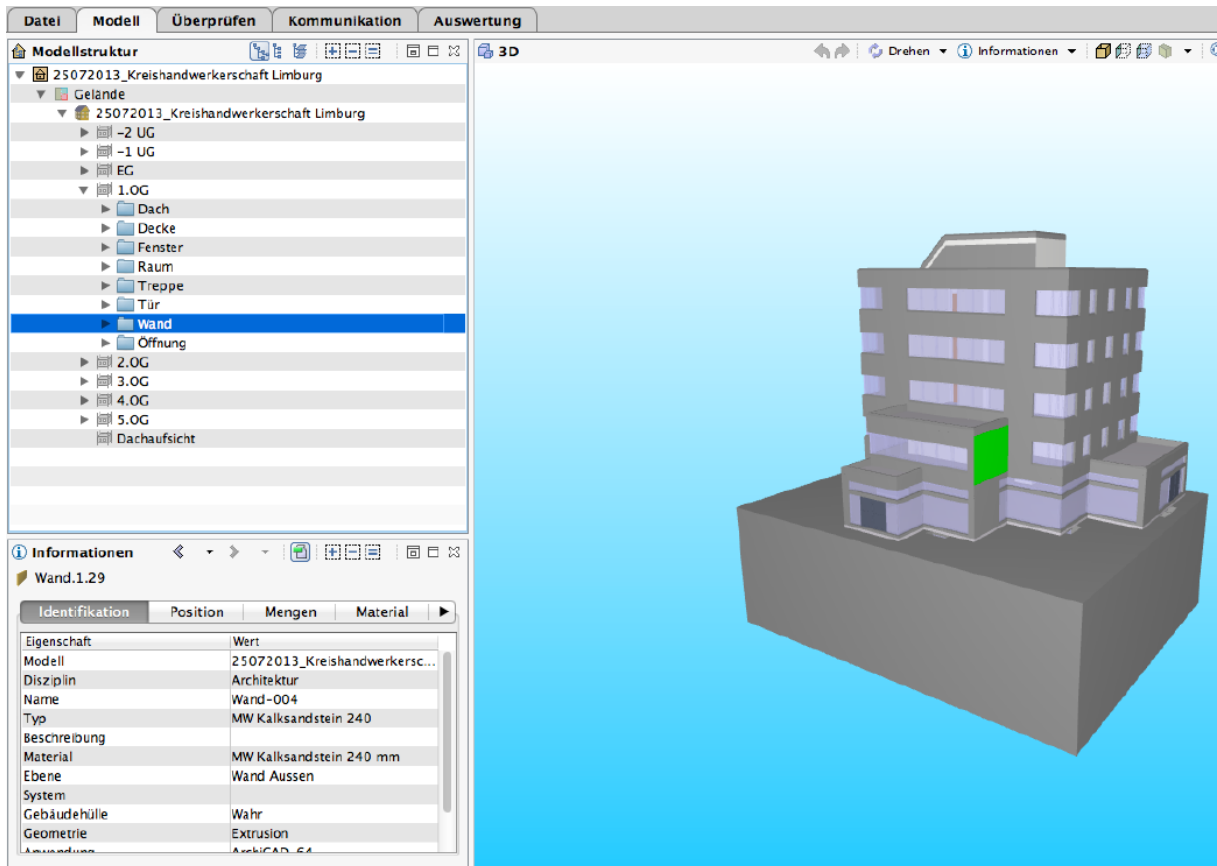


Abb. 5.1 IFC-Struktur einer Wand, dargestellt im Programm Solibri Modell Checker [8]

## 5.2.1.2 Aktuelle Entwicklungen

Die Entwicklungen zur Verbesserung der IFC-Schnittstelle werden stetig fortgeführt, um einen einerseits einen standardisierten und andererseits einen verlustfreien Austausch zwischen unterschiedlichen Herstellern zu garantieren. Momentan ist das IFC 2x3-Format in den meisten Softwareprogrammen implementiert und hat sich deswegen auch in der Baupraxis durchgesetzt. 2013 wurde aber das derzeit aktuellste Format IFC 2x4 (kurz IFC4) veröffentlicht und wird in Zukunft den IFC2x3-Standard ablösen. IFC4 ist durch zwei Model View Definitions (MVD) gekennzeichnet. Auf der einen Seite ist es der Reference View, der als Referenz auf einem digitalen Modell basieren soll und daher eher einen eindirektionalen Austausch ermöglichen wird. Auf der anderen Seite unterstützt der Design Transfer View Arbeitsprozesse, in denen das Modell zur weiteren Verwendung freigegeben wird. [5]



Fachmodelle	Modellelement	IFC
Tragwerksmodell	Balken	IfcBeam
Bewehrungsmodell	Bauteil / Bauelement - beliebig	IfcBuildingElementProxy
Schalungsmodell	Befestigungsmittel	IfcFastener
	Bewehrungsmatte	IfcReinforcingMesh
	Bewehrungsstab	IfcReinforcingBar
	Decke	IfcSlab
	Fundament	IfcFooting
	Mechanisches Befestigungsmittel	IfcMechanicalFastener
	Pfeiler / Tiefgründung	IfcPile
	Platte	IfcPlate
	Rampe	IfcRamp
	Rampenlauf	IfcRampFlight
	Spannglied	IfcTendon
	Spanngliedanker	IfcTendonAnchor
	Stab / Stabträger	IfcMember
	Stütze	IfcColumn
	Treppe	IfcStair
	Treppenlauf	IfcStairFlight
Wand	IfcWallStandardCase / IfcWall	
Zusammengesetztes Element	IfcElementAssembly	
Zusatzgerät / Einbauteil	IfcDiscreteAccessory	

Abb. 5.2 Auswahl von IFC-Elementen in der Tragwerksplanung [4]

### 5.2.1.3 Coordination View und Structural Analysis View

Das IFC-Format besitzt unterschiedliche Sichten und jede Disziplin hat ihre eigene Sicht. Allgemein gibt es zwei verschiedene Arten von IFC-Dateien, die sogenannten Views.

Die wohl bedeutendste Sicht ist der Coordination View, der ein Modell mit seinen physischen Eigenschaften als Volumenelement beschreibt. In der Baupraxis ist diese Sicht beim IFC-Datenaustausch gängiger Standard und wird deshalb auch von den meisten Architekturprogrammen unterstützt. Der aktuell geltende IFC-Coordination View 2.0 ist zertifiziert und eignet sich für korrekte Massenermittlungen oder Kollisionssprüfungen. [37]

Im Gegensatz dazu gibt es in der Baustatik den Structural Analysis View, der eine Beschreibung des statischen Modells einschließlich von Lasten und Lastkombinationen enthält. Bauteile werden als analytisches Element bezogen auf eine Achse dokumentiert. Dieser View ist momentan nicht zertifiziert, findet seine Anwendung in der Tragwerksplanung und wird nur von einer überschaubaren Anzahl von Statikprogrammen unterstützt. Nachfolgend zeigt Abbildung 5.3 die verwendeten Elemente des Structural Analysis View (2x3). Zusätzlich beinhaltet diese IFC-Datei noch Informationen zu Lastfällen und Lastfallkombinationen, Querschnitten und Materialien. Für einen gut funktionierenden Datenaustausch zwischen den Statikprogrammen muss sichergestellt werden, dass das zu importierende Programm, meist ein CAD-Programm, auch den Structural Analysis View für den Import einer IFC-Datei unterstützt. [37]

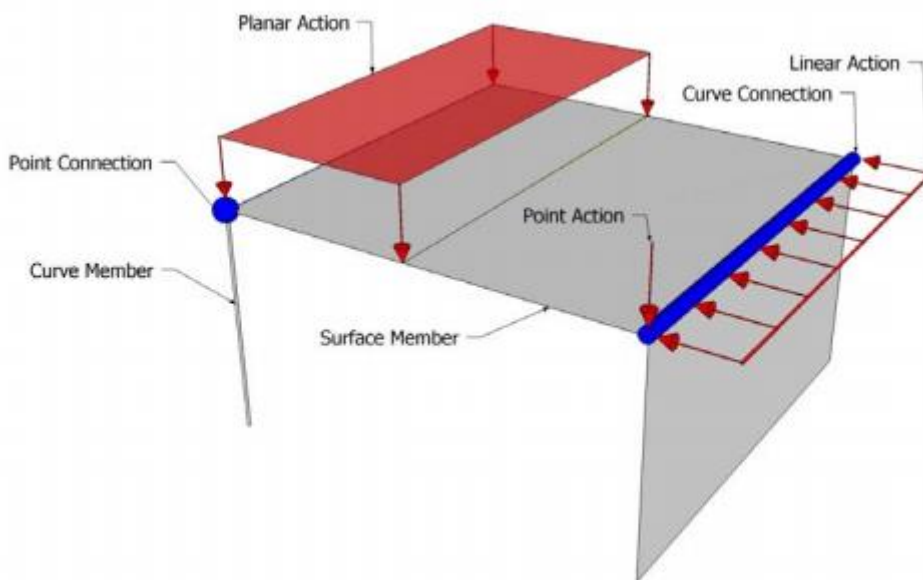


Abb. 5.3 Verwendete Elemente des Structural Analysis View (2x3) [37]

### **Mögliche Probleme bei einem IFC-Austausch zwischen Architekt und Statiker**

Architekten verrichten für gewöhnlich ihre Arbeit mit CAD-Programmen, die beim Export von Daten in eine IFC-Datei den Coordination View benutzen. Dies liegt daran, dass die Bauteile als physische Volumenkörper dargestellt werden, wohingegen Statikprogramme ihre Elemente meist nicht als Volumen beschreiben, sondern auf vereinfachte Systeme zurückgreifen. Hier entsteht der erste Konflikt zwischen den beiden Views einer IFC-Datei. [37]

Eine weitere Herausforderung besteht in der Arbeit mit zwei verschiedenen Fachmodellen. Während Architekten ein physisches Modell (Coordination View) erstellen, vereinfachen sich die Statiker ihre Modelle zu analytischen Tragwerkssystemen (Structural Analysis View). So ist eine Stahlbetonstütze bei einem Architekten ein Volumenkörper mit Höhe, Breite und Tiefe. Der Tragwerksplaner hingegen idealisiert die Stütze lediglich zu einem eindimensionalen Stab. Anhand eines Beispiels mit zwei Wänden und einer Decke soll diese Problematik erläutert werden.

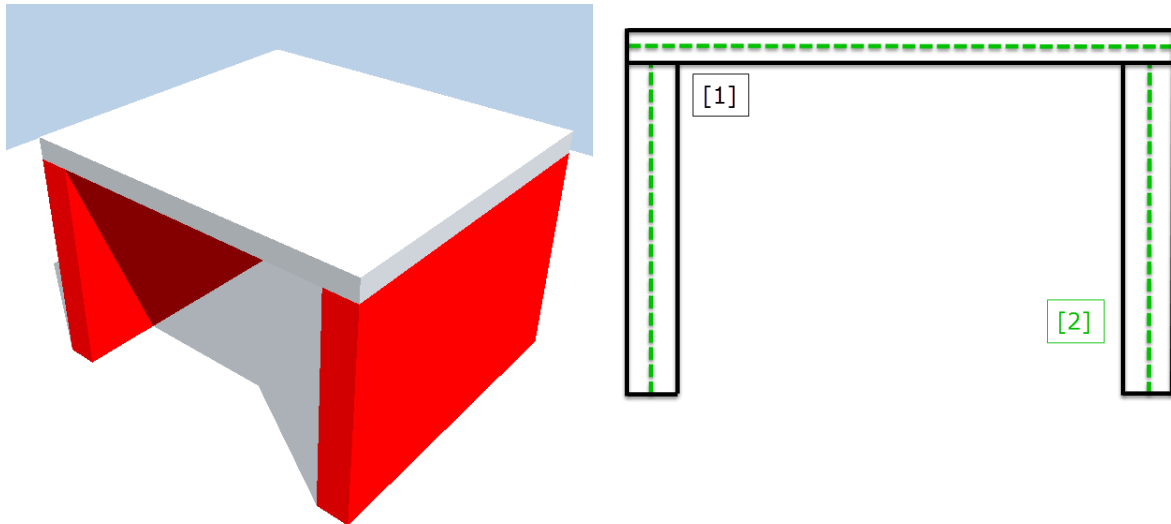


Abb. 5.4 Darstellung eines 3D-Volumensmodells und Gegenüberstellung der Sichten/Views einer IFC-Datei [37]  
1. Architektonisches physisches Modell - Coordination View  
2. Analytisches Tragwerksmodell - Structural Analysis View

Die Darstellung zeigt eindeutig, dass selbst für den Structural Analysis View nicht ohne weiteres ein berechenbares statisches System entstehen kann. Der Anwender muss auch hier Nachbearbeitungen und Korrekturen vornehmen.

Aktuell ist es ein schwieriger Weg einen durchgehenden Datenaustausch zwischen CAD- und Statik-Software basierend auf IFC-Dateien umzusetzen. Grund dafür sind die unterschiedlichen Ansichten und Philosophien der Softwarehersteller, die bisher noch in keiner offiziellen Richtlinie oder Norm vereint werden konnten. So stellt dies die Hersteller vor ein großes Problem. Sie können nun eine allgemeine Schnittstelle wie IFC oder auch DXF/DWG unterstützen, allerdings wird dadurch die Funktionalität in der Nutzung der Softwareprogramme eingeschränkt. So müssen die Softwareunternehmen ihre Produkte speziell für verschieden Systeme entwickeln, um eine verbesserte Nutzung zu ermöglichen. Trotzdem ist es möglich, dass Teile dieses Arbeitspro-

zesses durch das IFC-Format und den dazugehörigen Schnittstellen vereinfacht werden. So haben sich beteiligte Architekten und Bauingenieure bei einem IFC-basierten Datenaustausch immer zu vergewissern, welcher View von einem Architekturprogramm exportiert und importiert werden kann. Angemerkt sei noch, dass ein zertifiziertes IFC-Format nicht gleich einen reibungslosen Datenaustausch garantiert. [37]

### 5.2.2 SDNF – Format

Das Steel Detailing Neutral Format (SDNF) ist ein Industriestandardformat für den Austausch von Stahlbau-Elementen (Stahlprofile, Platten usw.). Es lassen sich Strukturdaten in Form von Knoten und Stäben mit den zugehörigen Materialien und Querschnitten sowohl importieren als auch exportieren. [38]

### 5.2.3 DSTV – Produktschnittstelle Stahlbau

Die Produktschnittstelle Stahlbau ist eine vom deutschen Stahlbau Verband (DSTV) entwickelte Schnittstelle, die für den Import und Export von Stabtragwerken, besonders im Stahlbau gedacht ist. Dieses Dateiformat wird als .stp oder auch als .step bezeichnet. Die Austauschdatei enthält ebenfalls neben den Statikdaten auch noch CAD-Daten, die für den Austausch unter CAD-Systemen vorgesehen sind. Der Import sowie Export kann aus Informationen wie Stäbe, Querschnitte, Materialien, Lagerungen und Belastungen bestehen. [38]

## 5.3 Weitere Schnittstellen

### 5.3.1 Excel

Fast alle Statikprogramme bieten die Möglichkeiten Tabellenwerte aus einer vorbereiteten Excel-Tabelle einzuspielen und nach der Berechnung Ergebnisse wieder in eine Excel-Tabelle oder auch als CSV-Datei zu exportieren. Häufig findet dieses Vorgehen bei einer statischen Dokumentation der Ergebnisse statt, wenn beispielsweise eine Lastweiterleitung oder auch eine Lastzusammenstellung erstellt wird. [38]

### 5.3.2 DXF

Das DXF-Format stellt eines der gebräuchlichsten Austauschformate im CAD-Bereich dar. Denn nahezu jedes Programm kann die Informationen eines 2D-Plans einlesen

und verarbeiten. Gängige Baupraxis ist, dass Architekten ihre 2D-Pläne gerne in diesem Format verschicken. Dies verursacht allerdings, dass die Bauingenieure den Plan einlesen und letztendlich ihr statisches Gesamtmodell neu eingeben müssen. So geht die Intelligenz eines objektorientierten Bauteils durch die reine zweidimensionale Darstellung verloren. [38]

## 6 Szenario – Workflow zwischen Architekt und Statiker

In diesem Kapitel wird ein vereinfachter baupraktischer BIM-Workflow dargestellt. Gezeigt werden verschiedene Datenaustausche zwischen CAD- und Statikprogrammen. Hierbei werden die übertragenen Informationen genauer untersucht und die Vorgehensweise der Erstellung der Gebäudemodelle in den Programmen geschildert unter der Berücksichtigung des jeweiligen Aufwands. Zu Beginn des Kapitels werden die einzelnen benutzten Programme kurz vorgestellt.

Angefangen wird mit dem herkömmlichen Datenaustausch, der in den meisten Ingenieurbüros heute noch Standard ist. Dieser beinhaltet nämlich die Einarbeitung und Neuingabe von DXF-Plänen der Architekten in die Statikprogramme. Danach wird die IFC-Schnittstelle genauer untersucht. Dazu dient ein relativ einfach gehaltenes Bürogebäude als Referenzbeispiel für den Import und Export der Bauwerksdaten. Abschließend wird ein direkter und nativer Datenaustausch mittels eines Architekturprogramms und zweier Statikprogramme durchgeführt. Dabei wird ein komplexeres Gebäude in die statischen Berechnungsprogramme importiert.

Abschließend wird in diesem Kapitel noch auf wichtige Erfolgsfaktoren für einen effizienten Datenaustausch zwischen Architektur und Statik eingegangen.

### 6.1 Verwendete Programme

#### 6.1.1 CAD-Programme

##### 6.1.1.1 Allplan

Das CAD- und BIM-Programm Allplan 2018 richtet sich an Architekten, Ingenieure und Konstrukteure. Es unterstützt 2D-Konstruktionen, 3D-Modellierungen sowie bauteilorientierte Gebäudemodelle mit Mengen- und Kostenermittlungen. Das Programm wird vom gleichnamigen Unternehmen Allplan GmbH, einer Tochter der Nemetschek SE entwickelt. Seit 1984 wird die Software angeboten, ist in 20 Sprachen verfügbar und wird aktuell von mehr als 190.000 Anwendern benutzt. [42]

Allplan bietet Lösungen sowohl für die Architektur als auch für den Ingenieurbau. Über große Freiheiten beim Erstellen von 3D-Modellen über hochwertige Visualisierungen bis hin zur Bewehrung auf höchstem Niveau legt Allplan ebenfalls einen großen Wert

auf die BIM-basierte Planung. Aufgrund seiner direkten Anbindung an die cloudbasierte BIM-Plattform Allplan Bimplus wird Allplan-Software zur durchgängigen BIM-Lösung. So besitzt Allplan zahlreiche Schnittstellen zu traditionellen Austauschformaten (u. a. DXF, DWG, ...) und unterstützt zusätzlich offene Austauschformate wie IFC und PDF.

Allplan verfügt über zahlreiche Funktionen zum Erstellen, Bearbeiten und Pflegen eines BIM-Modells. Zum einen befinden sich in der Bauteilbibliothek viele Modellelemente, die sich auch in gleicher Form als IFC-Objekte wiederfinden. Andererseits können mit der Bauwerksstruktur, dem Ebenenmanager und der Layerverwaltung zusätzliche Datengliederungen vorgenommen werden entsprechend den Strukturvorgaben des IFC-Formats.

### **6.1.1.2 Revit**

Mit Revit 2019 als CAD- und BIM-Software lassen sich umfassende Gebäudestrukturen auf einfache Weise erstellen basierend auf der Technologie des BIM. Das von Autodesk entwickelte Programm arbeitet im Gegensatz zu AutoCAD objektorientiert und unterstützt sowohl eine 2D- als auch eine 3D-Modellierung. [43]

Neben der Funktion Revit Architecture für Architekten gibt es auch Revit Structure als Lösung für Baustatiker, die daraus Modellierungen von Tragwerken vornehmen können. Revit verfügt über viele Schnittstellen, die Standardformate wie DXF und DWG sowie offene Formate wie IFC und PDF ermöglichen. Über den Dienst Autodesk360 kann auch via Cloud-Computing auf die Daten zugegriffen werden. Zudem existiert eine besondere Kooperation mit den Statikprogrammen SSD von SOFiSTiK und RFEM / RSTAB von Dlubal, sodass theoretisch ein nahezu fehlerfreier Datenaustausch stattfinden kann.

Revit ist vor allem eine Erleichterung für Tragwerksplaner, die sich aus dem Gebäudemodell automatisch ein statisches Analysemodell ableiten können. So können für die Arbeit auch statische Objekte wie Gelenke, Lager und Lasten definiert werden. Durch die Unterstützung der parametrischen Modellierung lassen sich in Revit auf verschiedene Objektbibliotheken bzw. Objektklassen zurückgreifen, die als sogenannte Familien dargestellt werden.

## 6.1.2 Statikprogramme

### 6.1.2.1 RFEM

RFEM 5 ist eine statische Bemessungssoftware zur Dimensionierung von Tragwerken mithilfe der FEM. Gemeinsam mit RSTAB 8 bilden sie zusammen den Kern einer modular aufgebauten Programmfamilie der Firma Dlubal Software GmbH. Während RSTAB 8 ausschließlich für die Berechnung von Stabtragwerken benutzt wird, lassen sich in RFEM 5 neben Stabelementen auch Berechnungen von Flächen- wie Platten und Scheiben sowie Volumenelementen durchführen. [30]

Das Basisprogramm RFEM dient zur Definition der Struktur, Materialien und Einwirkungen ebener und räumlicher Platten-, Scheiben-, Schalen- und Stabtragwerke. Es ist modular aufgebaut, sodass im Hauptprogramm nur Schnittgrößen, Verformungen, Lagerreaktionen und Spannungen allgemeiner Flächentragwerke mit oder ohne Stab- und Volumenelementen ermittelt werden. Die Bemessung einzelner Bauteile findet in den jeweiligen Zusatzmodulen statt.

Dem Softwarehersteller Dlubal Software ist es von hoher Bedeutung einen durchgehenden BIM-Workflow zu garantieren und bietet daher zahlreiche Schnittstellen an. Von allgemeinen Standardformaten (DXF, DWG) über offene Datenformate (IFC, STP) bis hin zu direkten nativen Schnittstellen (Revit, Tekla Structures) besitzt RFEM vielseitige Möglichkeiten zum Import und Export von Gebäudeinformationen.

### 6.1.2.2 SOFiSTiK – Programme

Die Softwarelösungen für das Einsatzgebiet von Plattenbemessungen, statischen Berechnungen im Hochbau sowie dem 3D-Ingenieurbau und Brückenbau wird von der Firma SOFiSTiK AG in mehreren FEM-Paketen angeboten. Dabei sind die Programme modular aufgebaut. So werden alle Berechnungsdaten in einer zentralen Datenbank gespeichert. Die verschiedenen Programme tauschen ihre Daten ausschließlich über diese Datenbasis aus. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Anwendungsprogrammen übernimmt der SOFiSTiK Structural Desktop (SSD), der auch für die Beispielprojekte benutzt wurde. [34]

Die SOFiSTiK-FEM-Pakete ermöglichen einen maßgeschneiderten Einsatz bewährter FE-Technologie. Zusätzlich werden vielseitige Eingabemöglichkeiten angeboten von der parametrischen textbasierten Eingabe über den AutoCAD®-Aufsatz SOFiPLUS bis hin zur BIM-Planung mit Autodesk® Revit® Structure.



SOFiSTiK legt großen Wert auf die Unterstützung dieses BIM Workflows und entwickelt bereits seit Jahren auf Autodesk® Revit® basierende Produkte um das Potenzial von BIM speziell in der Tragwerksplanung voll auszuschöpfen. SOFiSTiK bietet daher einen 100 Prozent durchgängigen BIM-Workflow in der Bauplanung an. So können in Bauprojekten alle notwendigen Schritte von der Modellierung über Berechnung und Bemessung bis zur Bewehrungsableitung in einem konsistenten Datenmodell durchgeführt werden.

### 6.2 Beispielprojekt 1 – Herkömmlicher Datenaustausch mittels DXF-Dateien

In diesem Beispiel wird ein Datenaustausch mittels DXF-Datei veranschaulicht. Der Austausch von solchen Dateien ist immer noch Standard in der Kommunikation von Architekten und Ingenieuren und soll auch hier als Schnittstelle zur BIM-orientierten Planung darstellen. Die Erstellung der DXF-Dateien erfolgte nur in Allplan, da dieser Arbeitsprozess in Revit zum gleichen Ergebnis führt.

Als Projektvorlage dient ein 5-geschossiges Büro- und Geschäftshaus, das in der Literatur [41] von Jens Minnert statisch berechnet wird. Das Beispielprojekt besteht aus einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss und drei Obergeschossen. Das Erdgeschoss und die Obergeschosse besitzen den gleichen Grundriss. Nachfolgend werden Grundriss, Schnitt und Ansicht des Gebäudes aufgezeigt, die in Allplan 2018 erstellt worden sind.

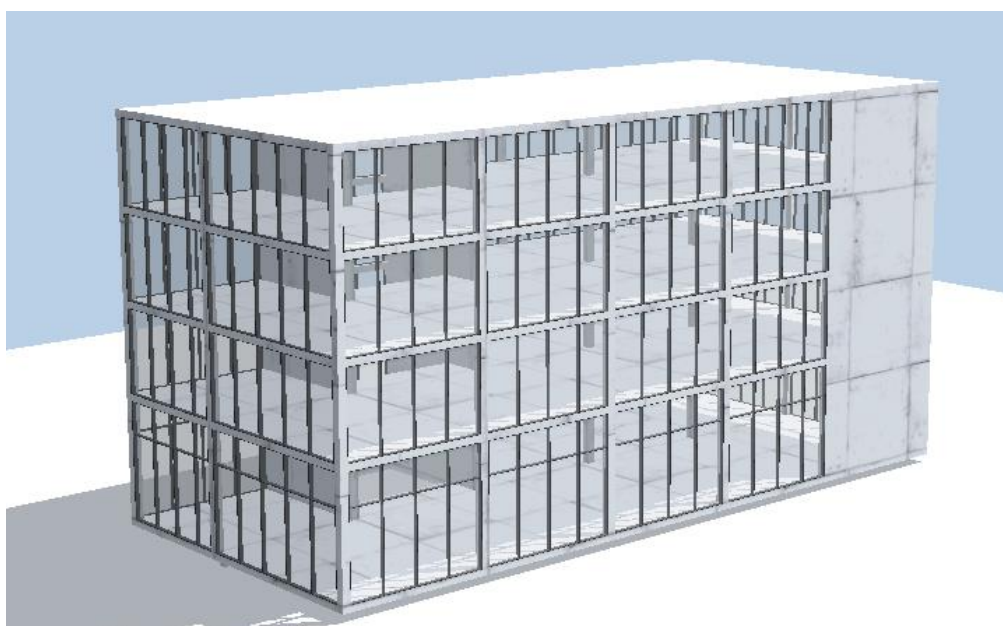


Abb. 6.1 Gebäudeansicht [44]

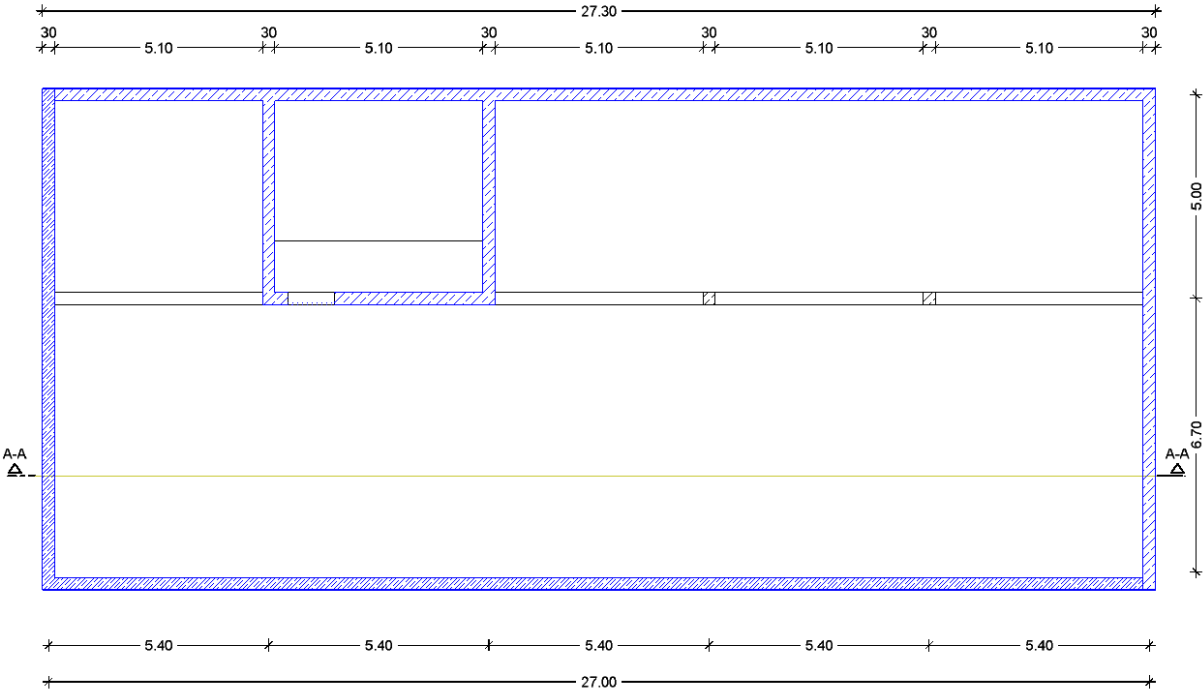


Abb. 6.2 Grundriss: Kellergeschoss [44]

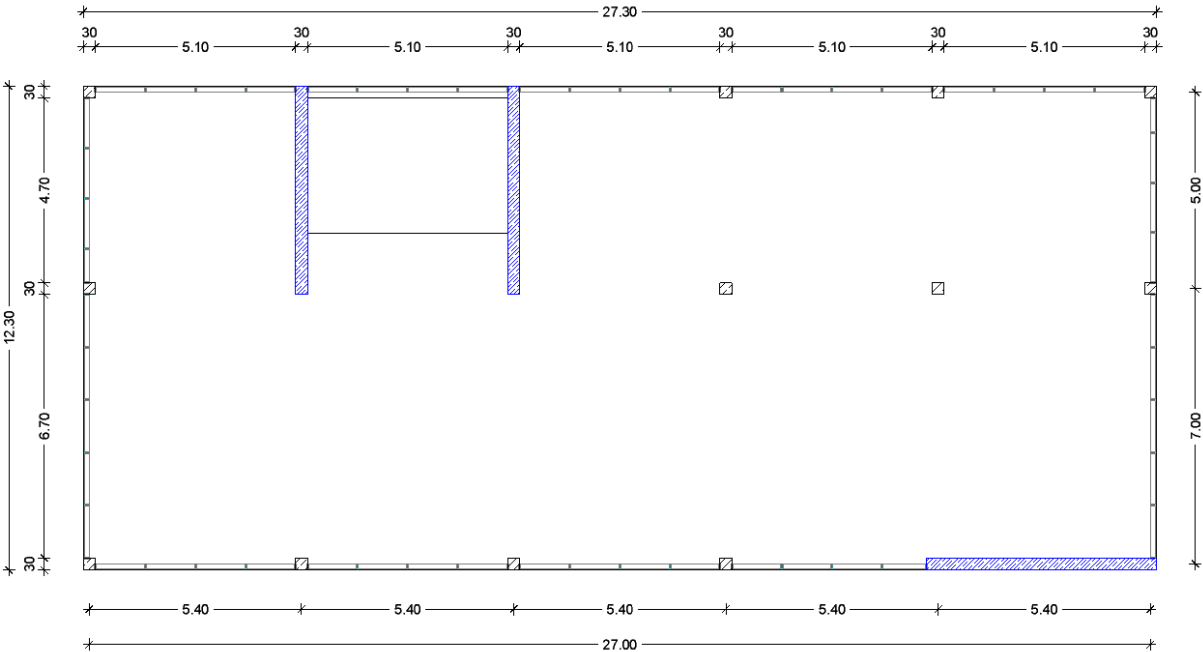


Abb. 6.3 Grundriss: Regelgeschoss [44]

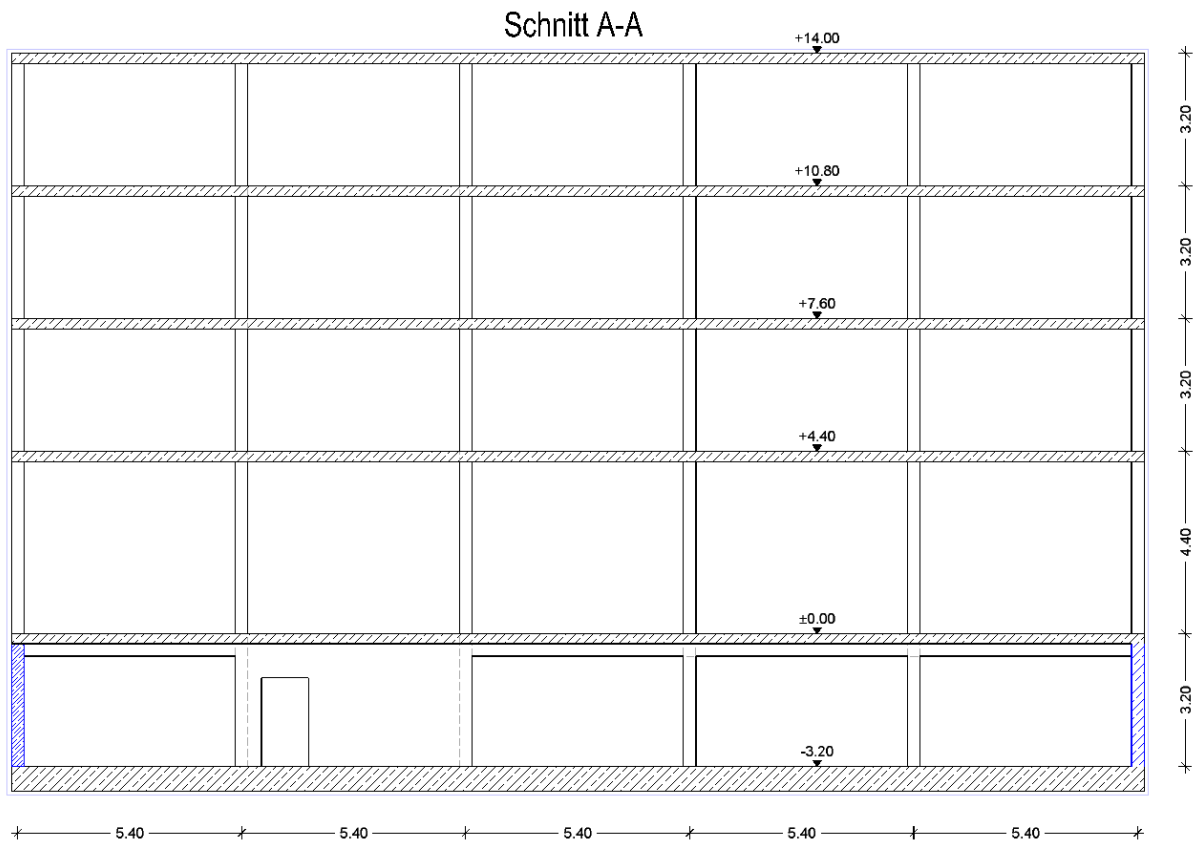


Abb. 6.4 Gebäudelängsschnitt [44]

Nachdem das Gebäude in Allplan modelliert wurde, werden die jeweiligen Grundrisse und der Schnitt als DXF-Vorlage für die Eingabe in die statischen Berechnungsprogramme verwendet.

### 6.2.1 Allplan zu RFEM

Bevor eine DXF-Datei erstellt wird, sollten nur die gewünschten Teilbilder und Layer ausgewählt werden, die für den Tragwerksplaner relevant sind. Hierzu gehören die tragenden Bauteile Decke, Wände und Stützen aber nicht die Fassade, die deshalb auch nicht aktiviert ist. Bei der Erzeugung der DXF-Datei wird in den Einstellungen noch die Auswahl getroffen, nur 2D-Elemente zu übertragen.

Erdgeschoss			
<input checked="" type="checkbox"/>	2001	Decke	4.1400 4.4000
<input checked="" type="checkbox"/>	2002	Geschoss	0.0000 4.1400
<input checked="" type="checkbox"/>	2003	Treppe EG-1.OG	0.0000 4.1400
<input checked="" type="checkbox"/>	2004	Grundriss	
<input type="checkbox"/>	2010	Fassade	nicht aktiviert 0.0000 4.1400
<input checked="" type="checkbox"/>	2020	Bemaßung	- -
<input checked="" type="checkbox"/>	2021	Achsraster	

Abb. 6.5 Auswahl der erforderlichen Teilbilder [44]

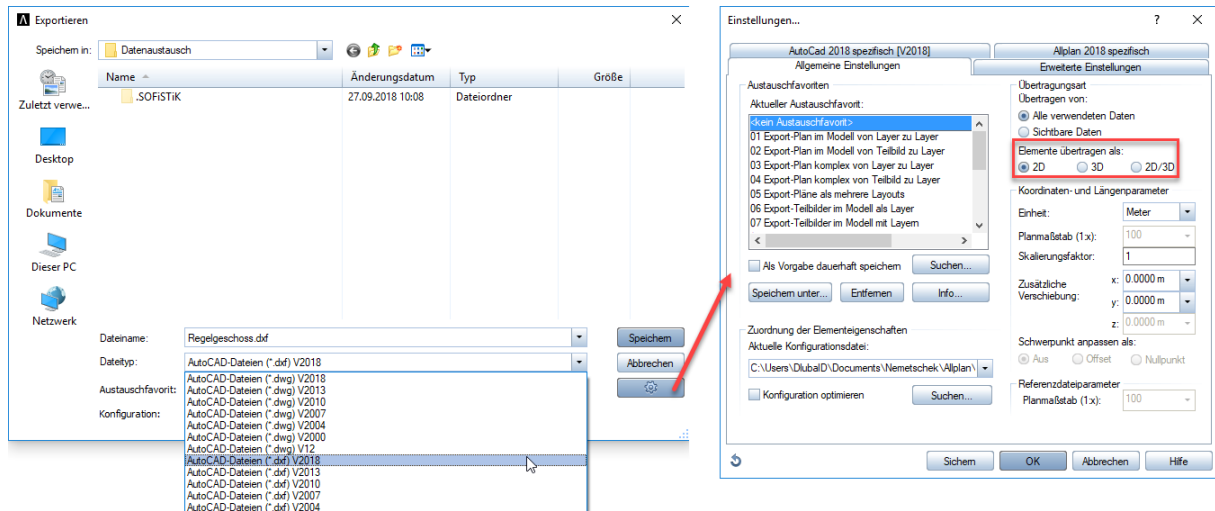


Abb. 6.6 Erstellung der DXF-Datei [44]

RFEM bietet zwei Möglichkeiten zur Einbindung von DXF-Dateien. Die erste Variante besteht in der automatischen Bildung von Linien in RFEM. Hierzu werden die Außenkonturen des Gebäudes in der DXF-Datei zu Linien umgewandelt. Dies empfiehlt sich in diesem Beispiel für die Erstellung der Decke. Allerdings werden nur die Außenkanten in Linien umgewandelt, sodass die Systemachsen der Wände und Stützen manuell eingegeben werden müssen.

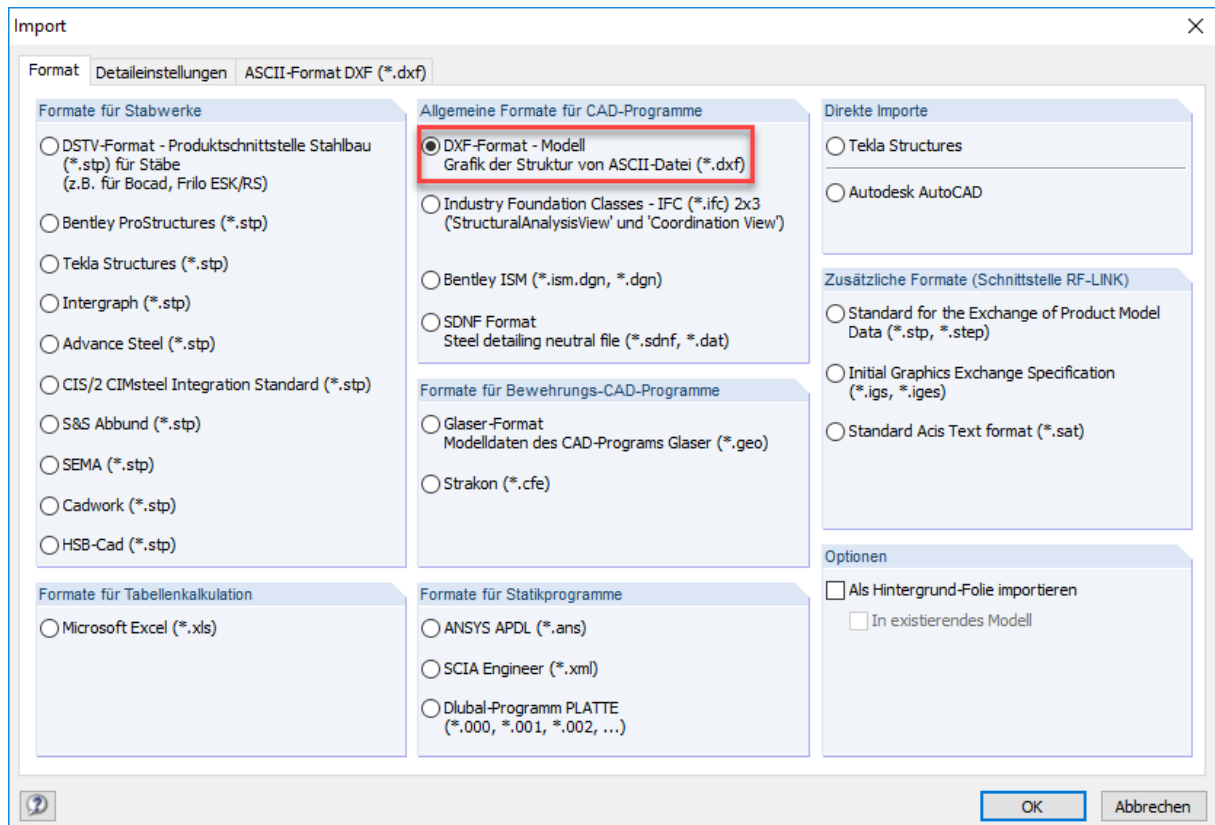


Abb. 6.7 Auswahl der Importeinstellungen: DXF-Format – Modell [44]

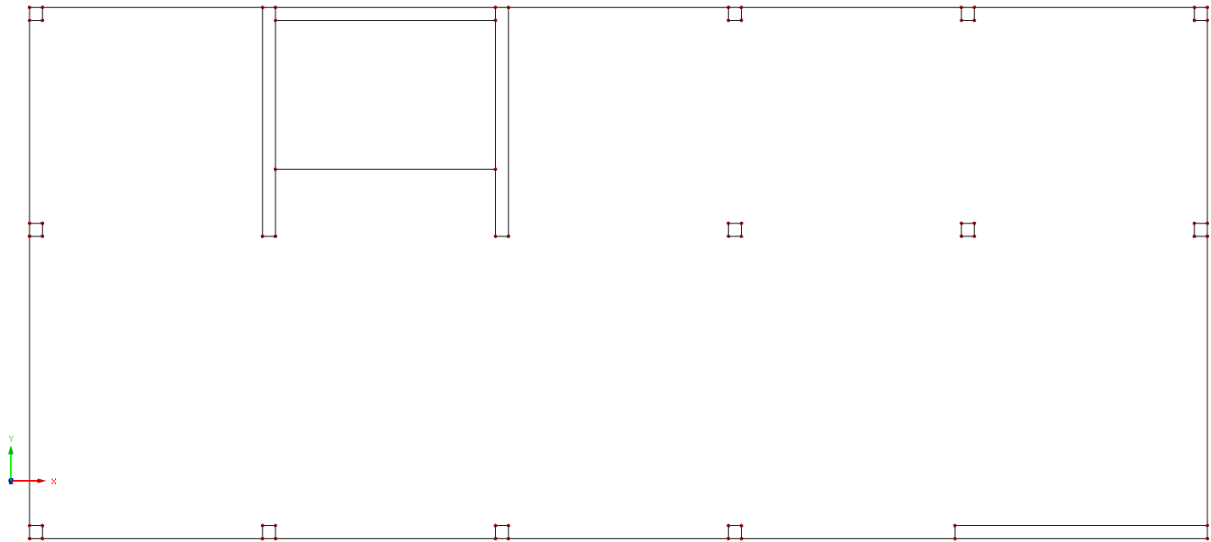


Abb. 6.8 Importierte DXF-Datei mit bereits erstellten Linien in RFEM. Die Linien symbolisieren die Außenkanten der Bauteile. [44]

Die Alternative zu der vorherigen Methode ist, dass die DXF-Datei als Hintergrundfolie importiert wird. So hat der Anwender die Möglichkeit die Linien selber zu generieren.

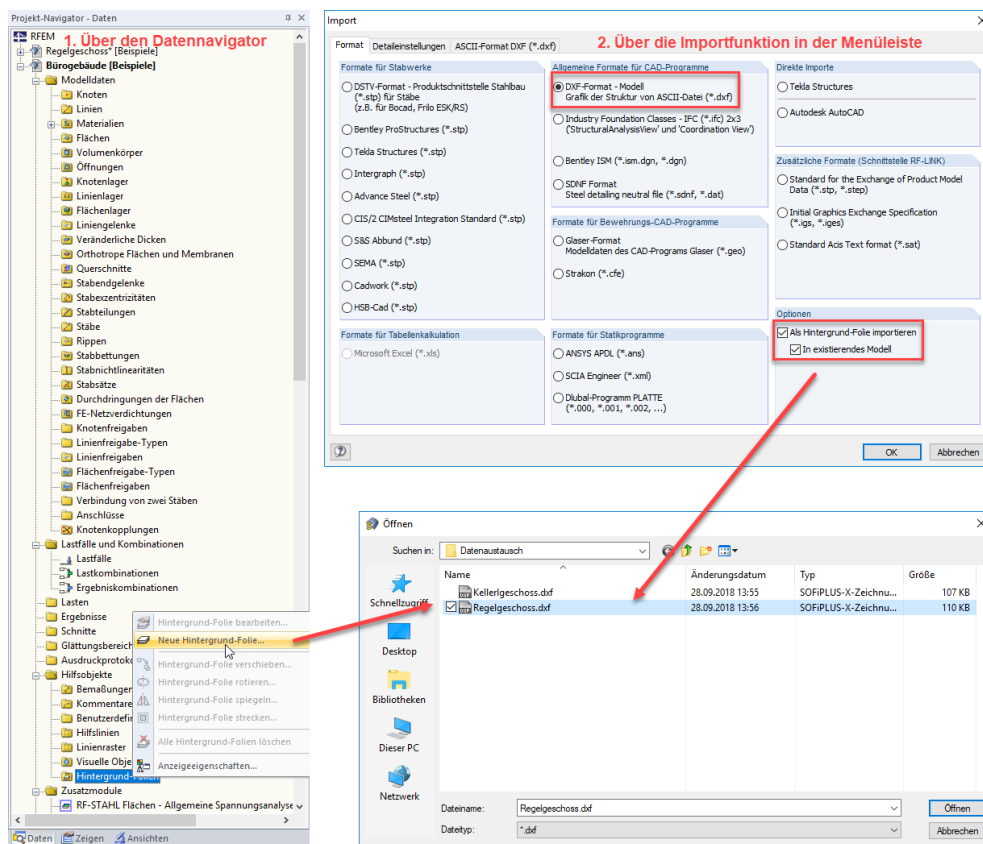


Abb. 6.9 Import einer Hintergrundfolie als alternative Methode [44]

Nichtsdestotrotz müssen durch den DXF-Import Nachbearbeitungen und Neueingaben der Geometrie durchgeführt werden. Zusätzlich müssen Materialien und Querschnitte definiert werden genauso wie Lastfälle, Lasten und Lastfallkombinationen. Der größte Aufwand besteht darin, das komplette statische Gebäudemodell mithilfe zweidimensionaler Folien neu einzugeben. Da die Geschosse nahezu gleich sind, ist die Funktion des Kopierens sehr sinnvoll, bei anspruchsvolleren Bauwerken kostet die Modellierung mit DXF-Folien trotzdem viel Zeit. Diesem Nachteil steht aber ein großer Vorteil gegenüber. Der Tragwerksplaner kann sein statisches Berechnungsmodell individuell anpassen und sehr einfach statische Idealisierungen vornehmen. Somit ist er selbst für sein Modell verantwortlich und nicht abhängig von der begrenzten Informationsübergabe durch den Import anderer Dateiformate.

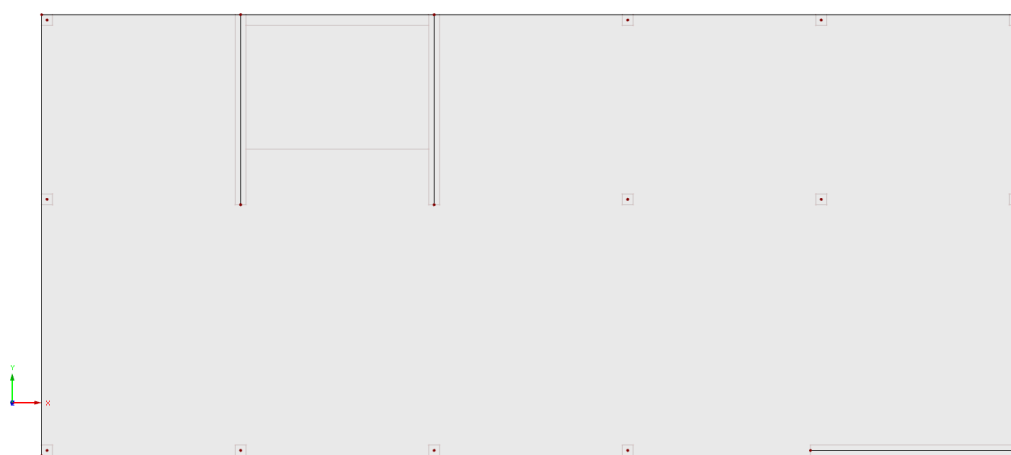


Abb. 6.10 Manuell nachbearbeitetes und idealisiertes System mit bereits erstellter Decke als Flächenelement [44]

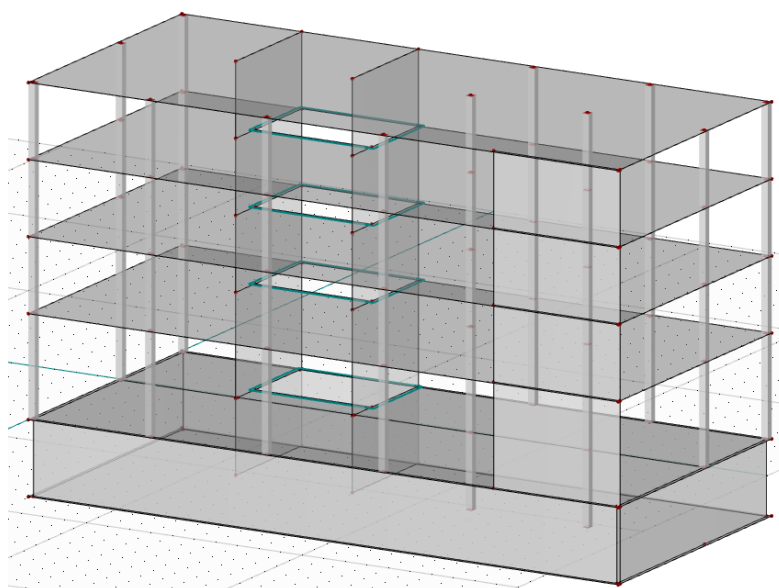


Abb. 6.11 Fertig erstelltes statisches Gesamtmodell in RFEM [44]

## 6.2.2 Allplan zu SOFiSTiK

Um ein statisches Modell in SOFiSTiK mithilfe von DXF-Dateien zu erstellen, gibt es mehrere Optionen. Die DXF-Datei kann nicht direkt in den SOFiSTiK Structural Desktop (SSD) importiert werden. Sie muss über die von SOFiSTiK kooperierenden Programme eingebunden werden. Dies sind zum einen Revit und SOFiPLUS-X. Letzteres wird für diesen Austausch verwendet. SOFiPLUS-X ist ein grafisches Tool zur Systemgenerierung unter AutoCAD.

Nachdem die DXF-Datei erfolgreich importiert worden ist, müssen anschließend aus der DXF-Datei über die Geometrie Strukturelemente eingegeben werden. Diese bilden das Bauwerk als Drahtgittermodell mit seinen Punkten, Kanten und Flächen ab. Durch die erneute Eingabe der Grundrisse und des Systems gestaltet sich diese Arbeit wie in RFEM relativ mühsam. Auch hier müssen nachträglich Querschnitte, Materialien, Lasten und Lastkombinationen gebildet werden. Insgesamt kostet aber auch hier die erneute Modellierung viel Zeit und ist somit in der Philosophie des BIM nicht gerade förderlich, da bereits ein erstelltes Gebäudemodell existiert.

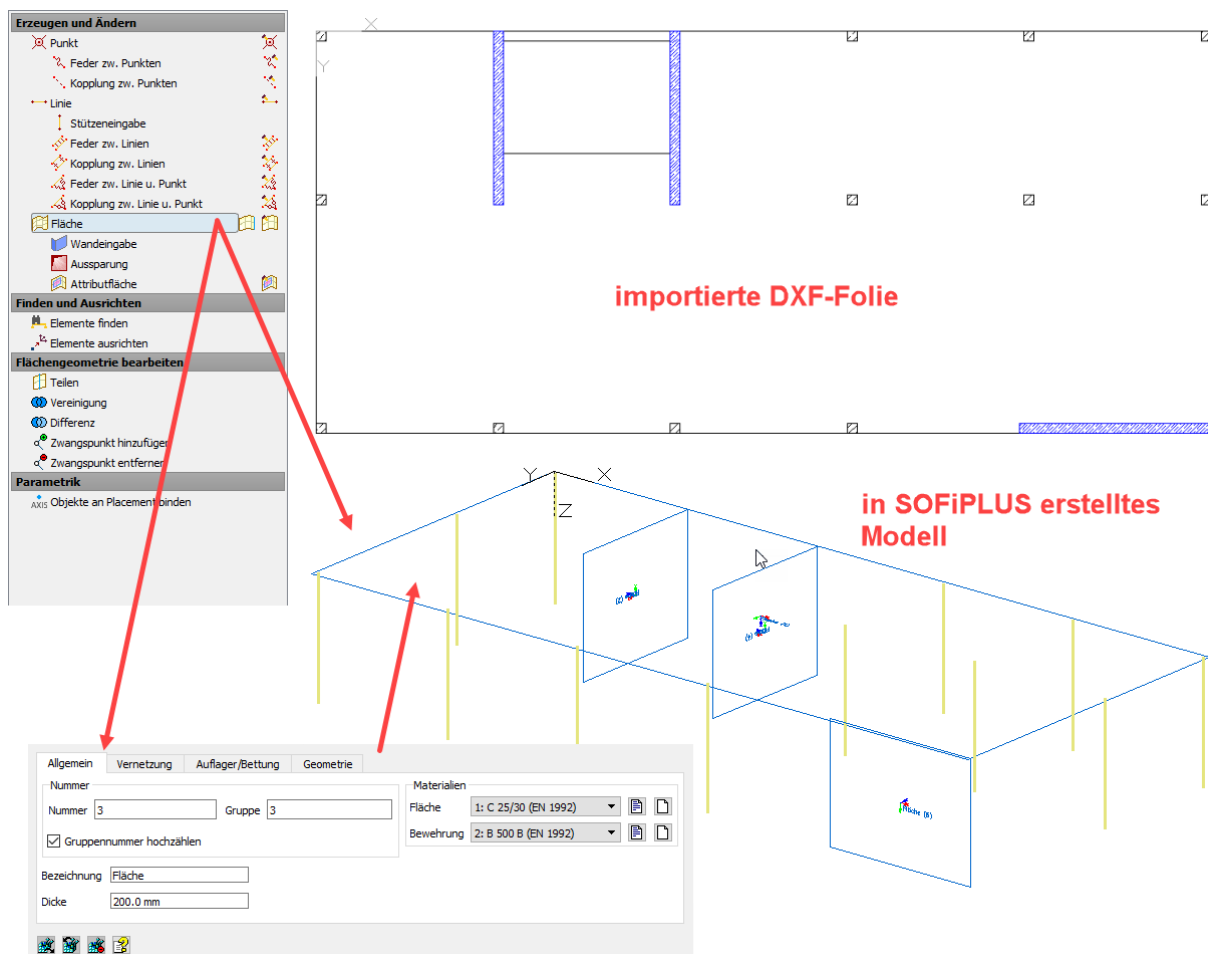


Abb. 6.12 Über die importierte DXF-Folie müssen noch Strukturelemente hinzugefügt werden [44]

## 6.3 Beispielprojekt 2 – Datenaustausch mittels IFC-Schnittstelle

Da die verwendeten Statikprogramme nur den Structural Analysis View benutzen und Allplan beim Import von Dateien nur den Coordination View lesen kann, wird hier der Export der Statikprogramme nicht behandelt. Zudem können beide Statikprogramme SOFiSTiK und RFEM den Structural Analysis View lesen und schreiben, sodass in diesem Kapitel nur der IFC-Import mit RFEM durchgeführt wird.

### 6.3.1 Allplan zu RFEM

Als Projektvorlage dient wieder das gleiche Gebäude, das zuvor in Allplan erstellt wurde. Bei der IFC-Schnittstelle werden objektorientierte Bauteilinformationen weitergegeben. Daher ist es wichtig schon im Vorfeld in Allplan einige nützliche Funktionen und Daten zu erstellen. Zum einen kann mittels der Bauwerksstruktur und dem Ebenenmanager den jeweiligen Bauteilen ein Geschoss zugewiesen werden, sodass sich diese auch in der IFC-Datei speichern lassen. Folglich lassen sich die Bauteile besser zuordnen und gegenfalls auch wiederfinden. Des Weiteren werden bei Höhenänderungen die Bauteile automatisch angepasst unter der Bedingung, dass sie abhängig von der Bauwerksstruktur und dem Ebenenmanager definiert worden sind.

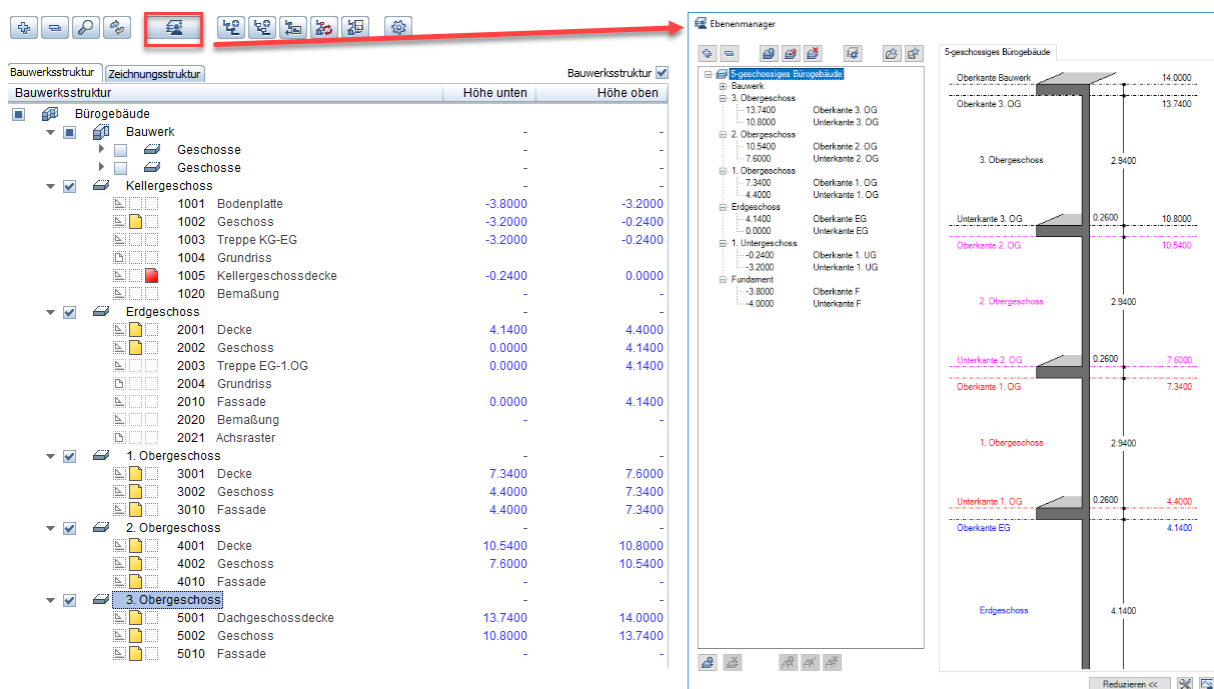


Abb. 6.13 Bauwerksstruktur und Ebenenmanager [44]

Eine zusätzliche Erleichterung für den Tragwerksplaner wären die bauteilbezogenen



Informationen wie Material, Querschnitt und Feuerwiderstandsklassen. Auch hier bietet Allplan Möglichkeiten automatische sowie manuelle Eigenschaften und Attribute Objekten zuzuweisen. In diesem Beispiel werden den tragenden Bauteilen Decken Wände und Stützen die Betongüte C25/30 zugeteilt. Danach wird das Gebäude über das Standard-IFC-Format 2x3 exportiert, da RFEM aktuell nur dieses IFC-Format einlesen kann. Dazu werden die erforderlichen Teilbilder ausgewählt und gegebenenfalls Anpassung an den Exporteinstellungen vorgenommen. Es wird empfohlen keine Häkchen bei „Zertifizierter CV2.0 Daten-Export“ und „Structural Analysis View“ zu setzen, da sodurch alle Elemente, auch nicht zertifizierte Elemente übertragen werden.

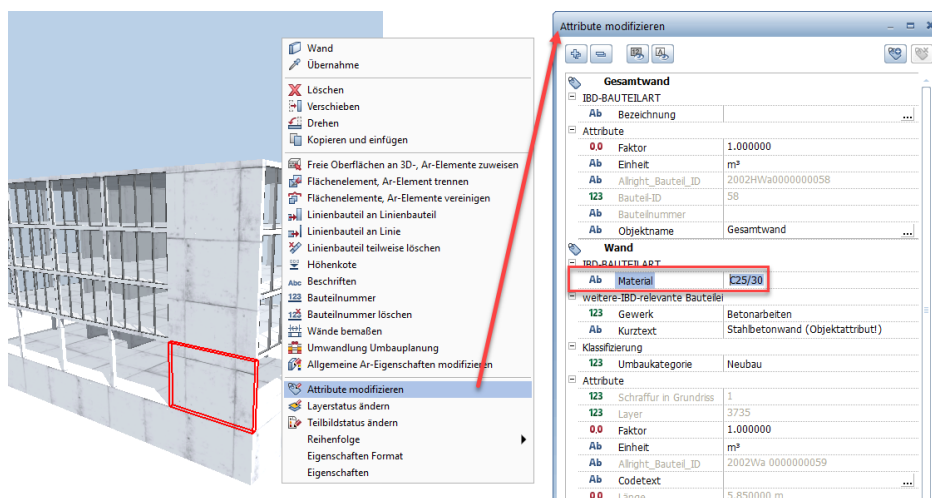


Abb. 6.14 Modifizierung der Attribute der Wand. Eine neue Information „Material: C25/30“ wurde manuell hinzugefügt. [44]

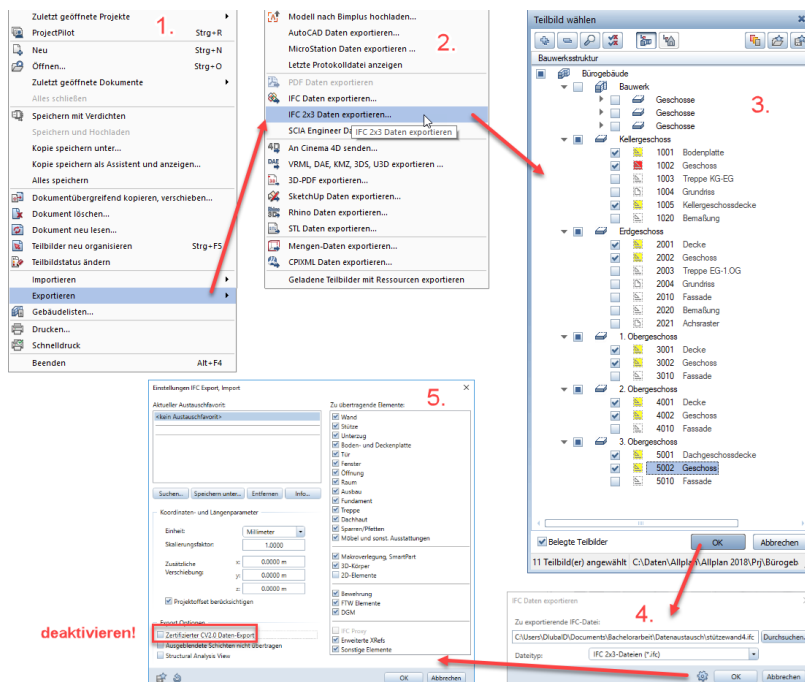


Abb. 6.15 Vorgehensweise des IFC2x3-Exports [44]

RFEM ermöglicht den Import von IFC-Daten primär über den Structural Analysis View. Nach Import der IFC-Datei taucht ein Hinweis auf, dass die Dlubal-Anwendungen nur limitierte Typen von physikalischen Elementen unterstützen. In diesem Beispiel werden jedoch klar definierte Bauteile verwendet, sodass alle tragenden Bauteile von Allplan in RFEM übertragen werden konnten.

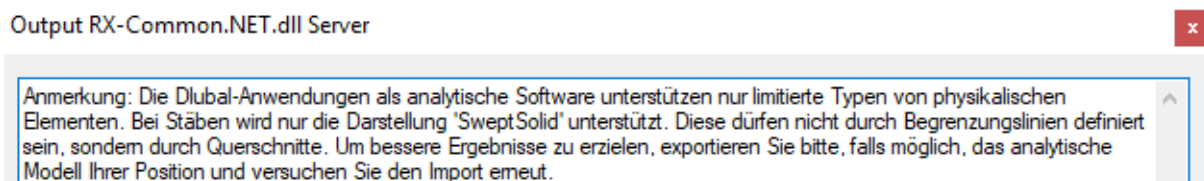


Abb. 6.16 RFEM – Import-Hinweis: Decken, Wände und Stützen werden jedoch unterstützt. [44]

Das Ergebnis des Imports ist durchwachsen. Zwar sind Stützen, Wände und Decken jeweils in Stäbe und Flächen erzeugt worden, doch sind sie nicht miteinander verbunden. Die Abmessungen der verschiedenen Bauteile wurden dadurch verfälscht. Dies liegt daran, dass in dem IFC-File nur ein physikalisches Modell hinterlegt ist und RFEM nur den Structural Analysis View unterstützt.

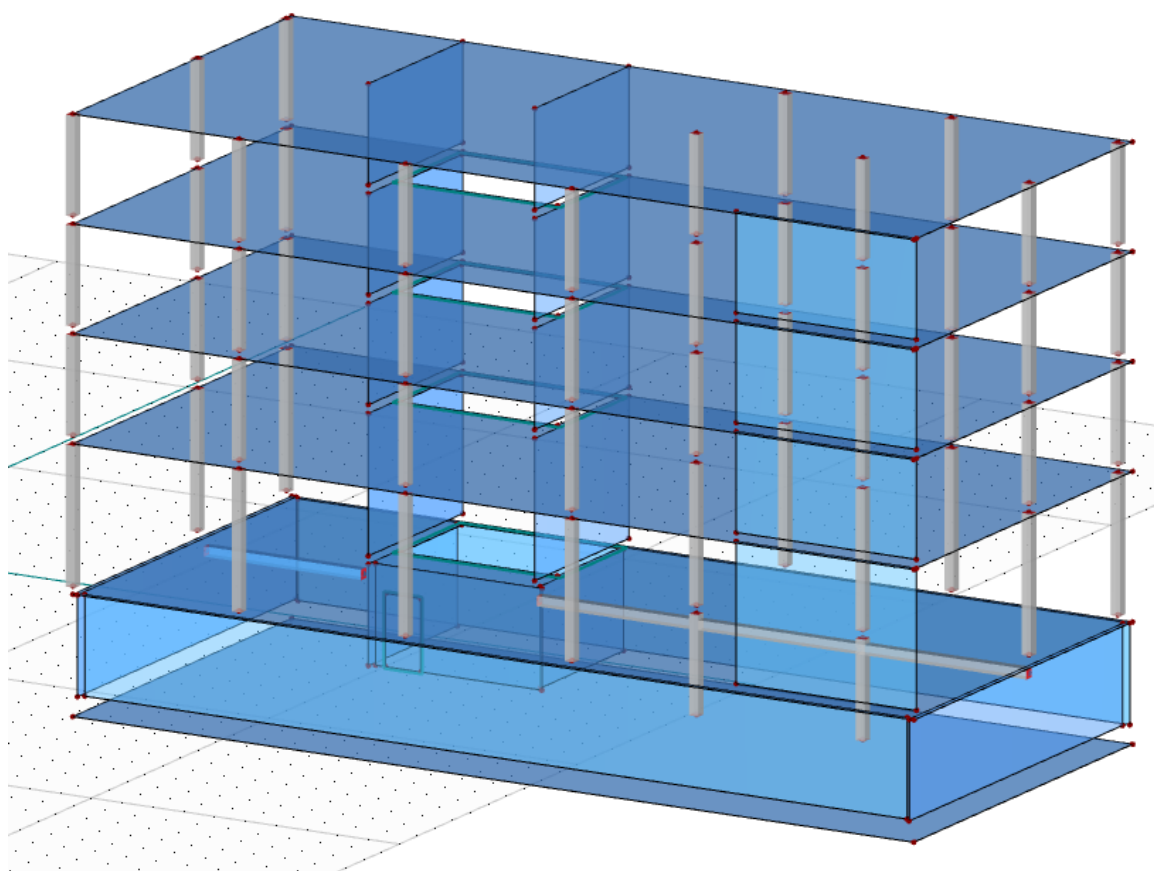


Abb. 6.17 Analytisches Modell in RFEM. Weder die Stützen noch die Wände sind mit den Decken verbunden. Die Stützen behalten ihre Eigenschaften. Die Wände und Decken nicht. [44]

Neben den geometrischen Modellfehlern sind auch die Materialeigenschaften der Wände und Platten nicht übernommen worden. Lediglich die jeweiligen Decken- und Wandstärken wurden richtig übertragen. Auffallend ist aber auch, dass sowohl der Querschnitt als auch das Material der Stützen richtig übermittelt wurde.

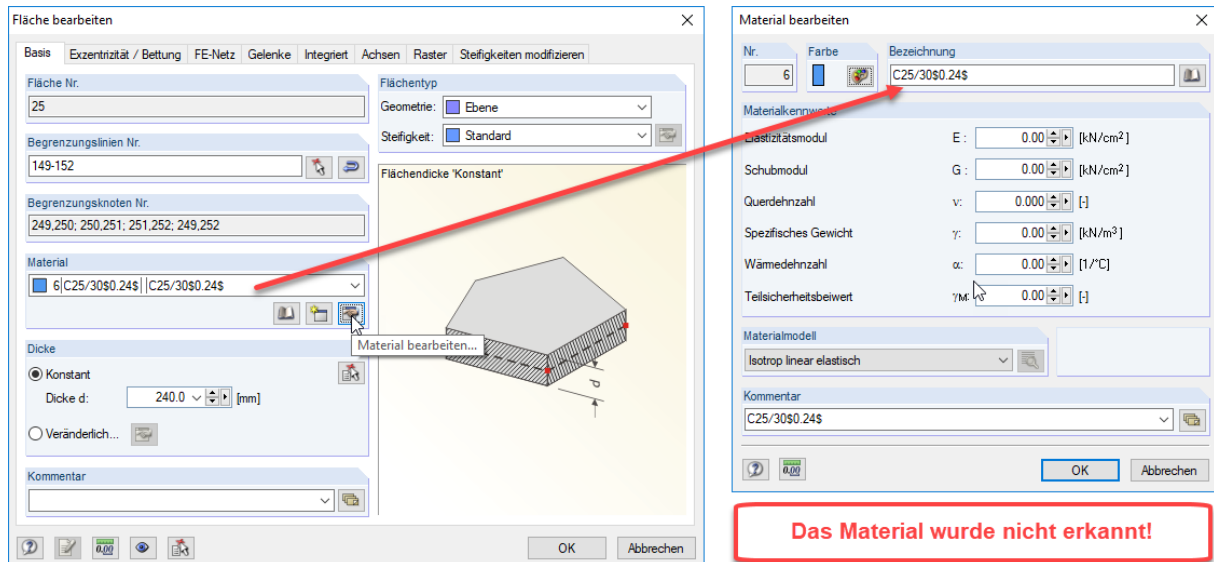


Abb. 6.18 Materialeigenschaften der Decken und Wände nach dem Import

Da jede Software eigene Spezifikationen auch im Hinblick auf die Bezeichnung von Querschnitten und Materialien hat, bietet RFEM eine Konvertierungstabelle an. Hier können für Import und Export die Material- und Profilbezeichnungen einfach definiert werden. Alternativ können die Materialien auch im Programm manuell geändert werden.

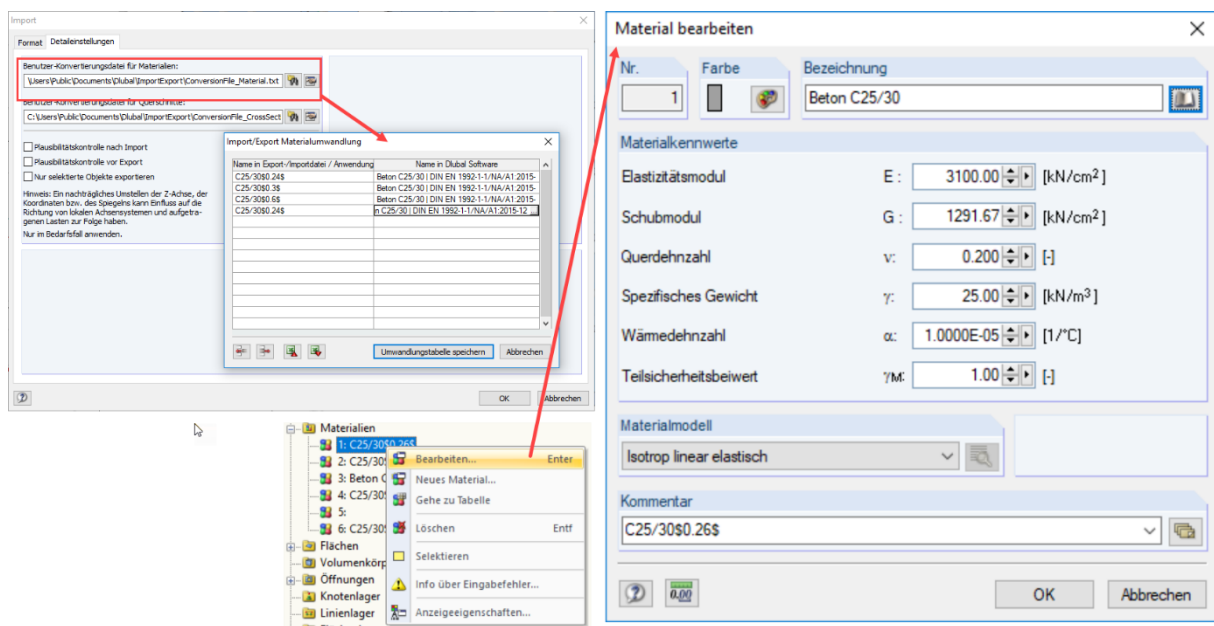


Abb. 6.19 Materialänderung mithilfe der Konvertierungstabelle und manuelle Änderung [44]

RFEM bietet zudem noch ein „CAD/BIM-Modell“ an, das beim Import einer IFC-Datei über den Coordination View funktioniert. Dieses Modell ist neben der regulären Modelleingabe eine Ebene zum Einlesen, Organisieren und Transformieren von IFC-, STEP- und IGES-Dateien. Der Anwender erhält durch das Volumenmodell einen Überblick über das gesamte Modell und kann das physikalische Architekturmodell nun in ein analytisches Modell umwandeln. Die manuelle Konvertierung der Volumenelemente in Stäbe und Flächen bietet dem Statiker, die Lage der neutralen Achse, den Querschnitt und das bevorzugte Material selber zu definieren. Letztendlich bietet diese Funktion zwar die Ansicht eines Volumenmodells, trotzdem müssen weitere Nachbearbeitungen stattfinden, um zu einem passablen Ergebnis zu kommen. Die Knoten und Linien müssen entsprechend verschoben werden, damit sie ein korrektes statisches System bilden, andernfalls kommt es zu Fehlermeldungen. Es wird daher auch empfohlen bei einem IFC-Datenaustausch auch DXF-Folien mit auszugeben und diese zu hinterlegen, damit eine grafische Kontrolle der Modelle erfolgen kann. Die Umwandlung von einem statischen Modell in ein physikalisches Volumenmodell ist in RFEM aktuell nicht möglich. Es ist auch möglich nach der Berechnung die Ergebnisse der Bemessung und Bewehrung samt Umrandungslinien der Flächen zu Allplan zu exportieren. Hier können anschließend die Bewehrungspläne erstellt mit den exportierten Plänen aus RFEM.

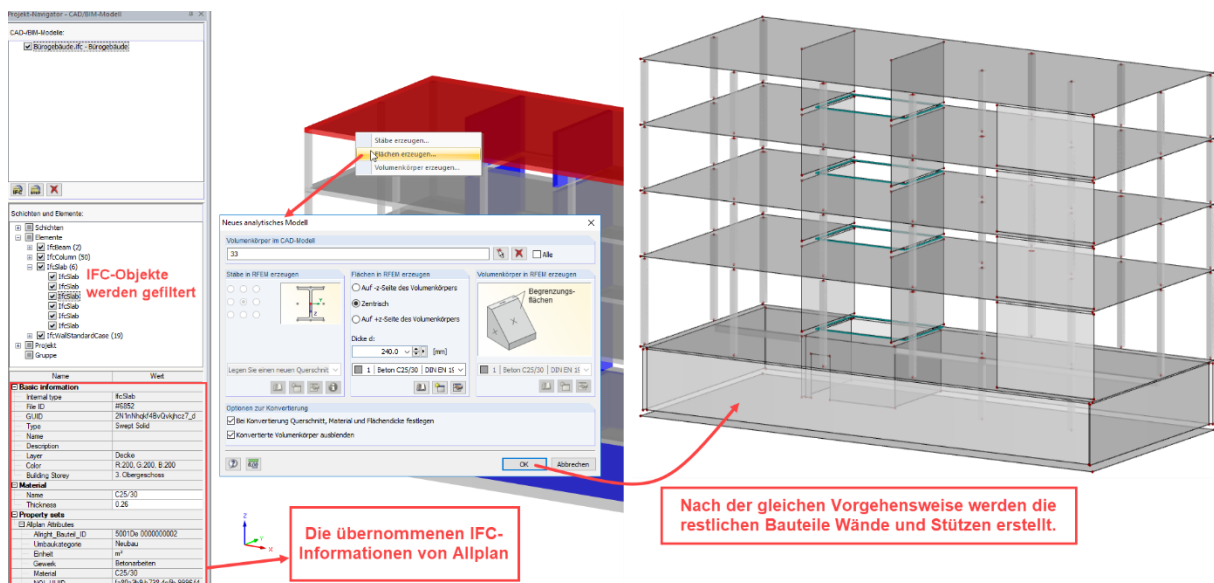


Abb. 6.20 Aus Volumenelementen werden Dlubal-Objekte. [44]

### 6.3.2 Revit zu RFEM

Für diesen Austausch wurde nachfolgende Abbildung der Dlubal Software GmbH benutzt. Dargestellt wird ein mehrgeschossiges Gebäude. Auch in Revit kann mithilfe der Ebenenstruktur die Höhe der Geschosse definiert werden. Dabei erstellt Revit für jedes Stockwerk automatisch eine separate Ansicht, sodass Decken und Wände der einzelnen Stockwerke einfach errichtet werden können.

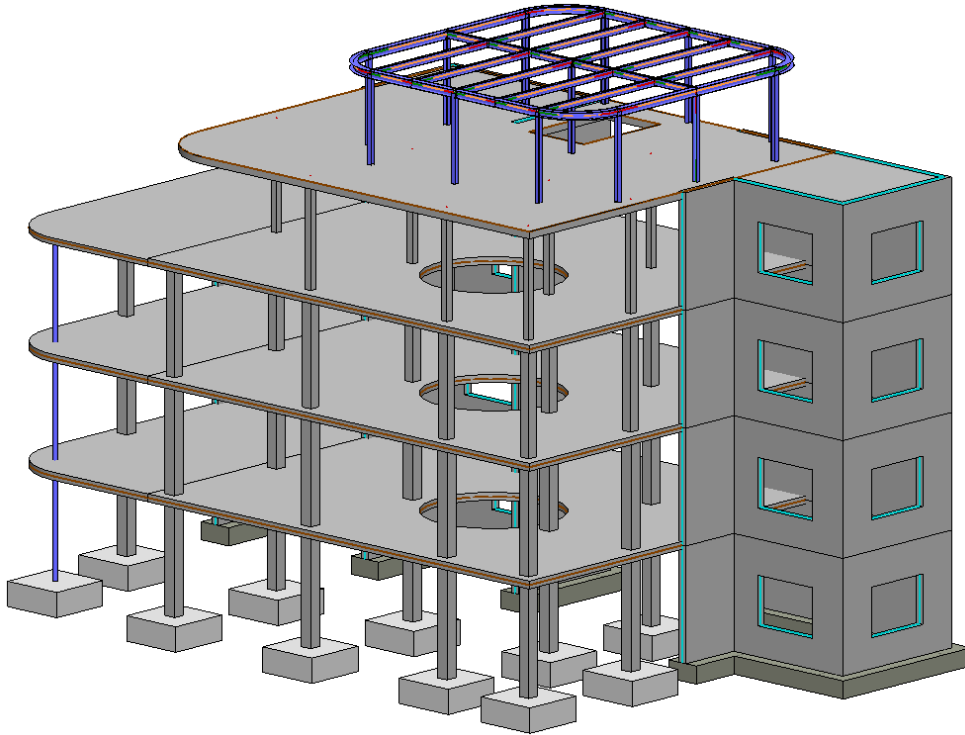


Abb. 6.21 3D-Modell nur mit tragenden Bauteilen in Revit [44]

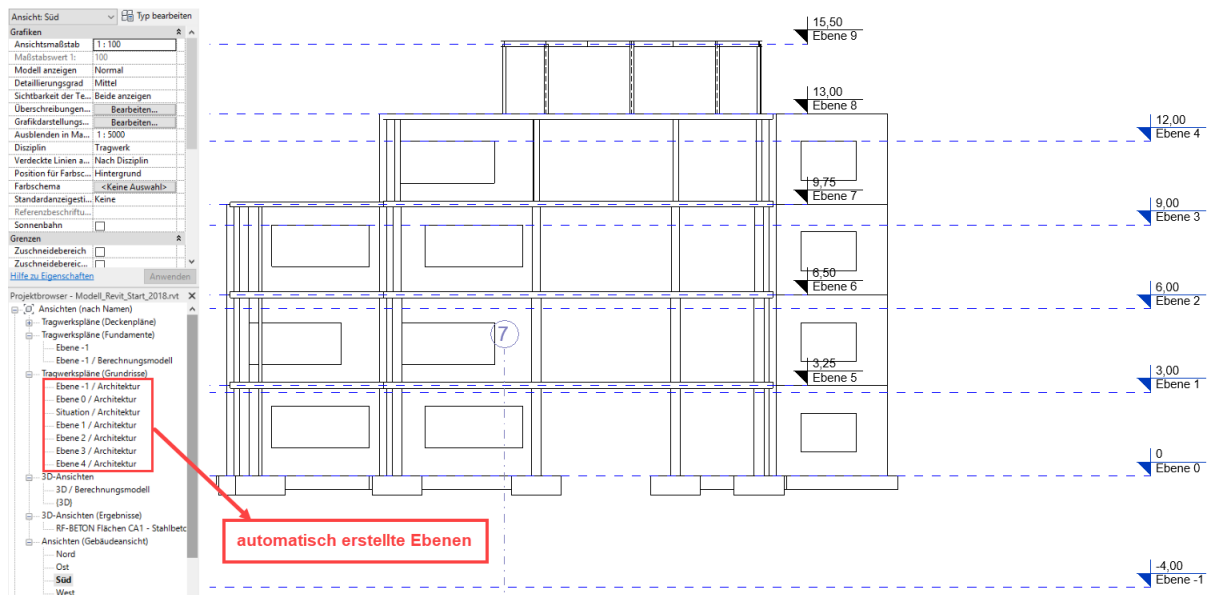


Abb. 6.22 Angelegte Ebenenstruktur in Revit [44]

Revit bietet die Möglichkeit statikrelevante Objekte zu erzeugen. So sind alle tragenden Bauteile nicht im Architekturmodul, sondern in den Ingenieurbau-Funktionen erstellt worden. Hier können tragende Bauteile wie Stützen, Wände und Fundamente generiert werden, die mit wichtigen tragwerksspezifischen Informationen hinterlegt werden.



Abb. 6.23 Erstellung tragender Bauteile im Ingenieurbauomodul [44]

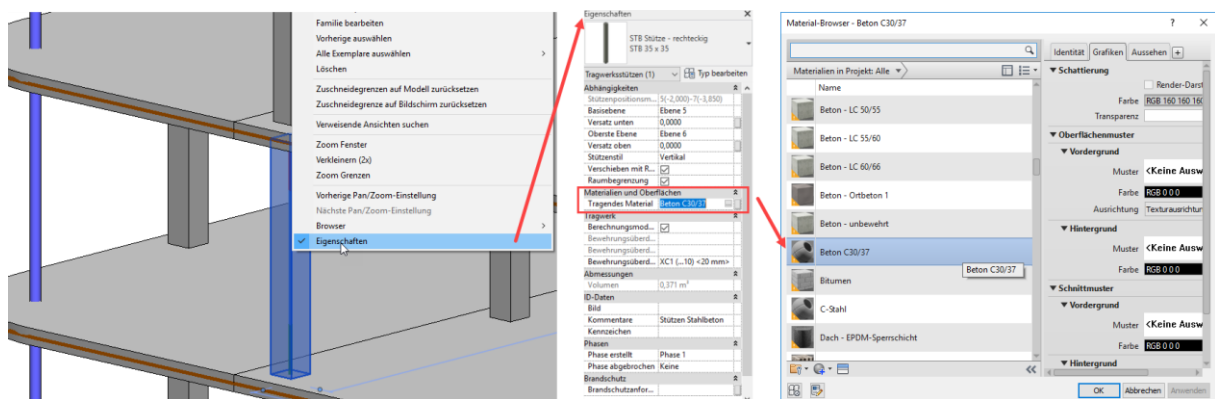


Abb. 6.24 Der Stütze wird die Betongüte C25/30 zugewiesen. [44]

Danach wird die IFC-Datei erstellt. Diese Vorgehensweise ähnelt die von Allplan. Auch hier wird der Coordination View nach IFC 2x3 exportiert. Unter den Einstellungsmöglichkeiten finden sich noch weitere Möglichkeiten zum Export der IFC-Datei. Diese wurden allerdings nicht berücksichtigt.

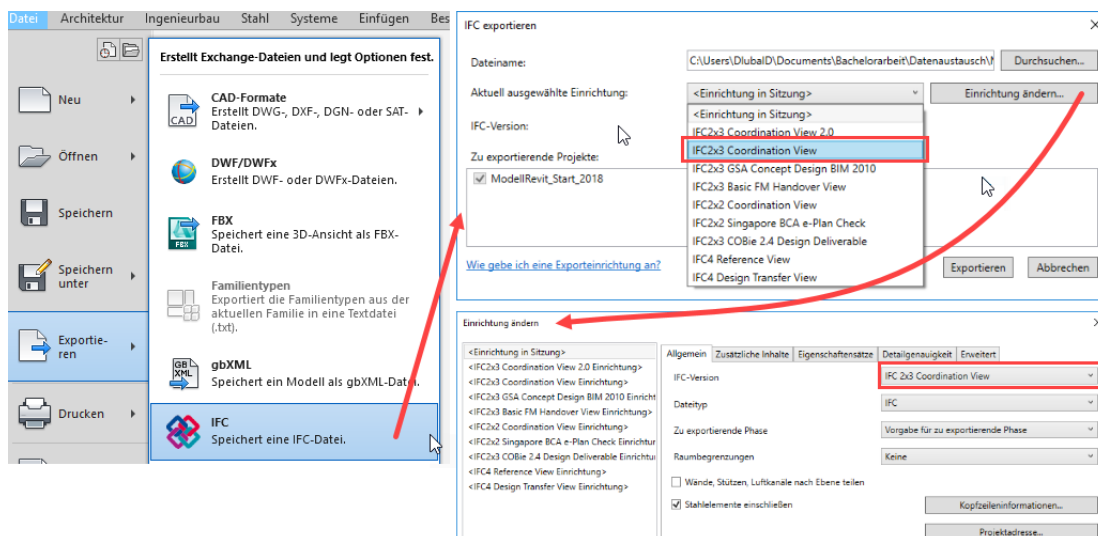


Abb. 6.25 Vorgehensweise bei der Erstellung der IFC-Datei [44]

Der Import der IFC-Datei fällt enttäuschend aus. Einerseits wurden alle tragenden Stützen nicht übernommen und der oberen Stahlkonstruktion keine Querschnitte übergeben. Dies wird bereits an der Hinweismeldung erkennbar, dass die Stützen als „nicht-relevant für die statische Berechnung“ eingestuft werden.

Hier liegt garantiert ein Fehler vor, der aber in der Zeit der Erstellung der Arbeit leider nicht behoben werden konnte. Andererseits wurden auch bei diesem Importvorgang die Materialien nicht übertragen, sodass auch hier der Anwender seine Materialien neu eingeben muss.

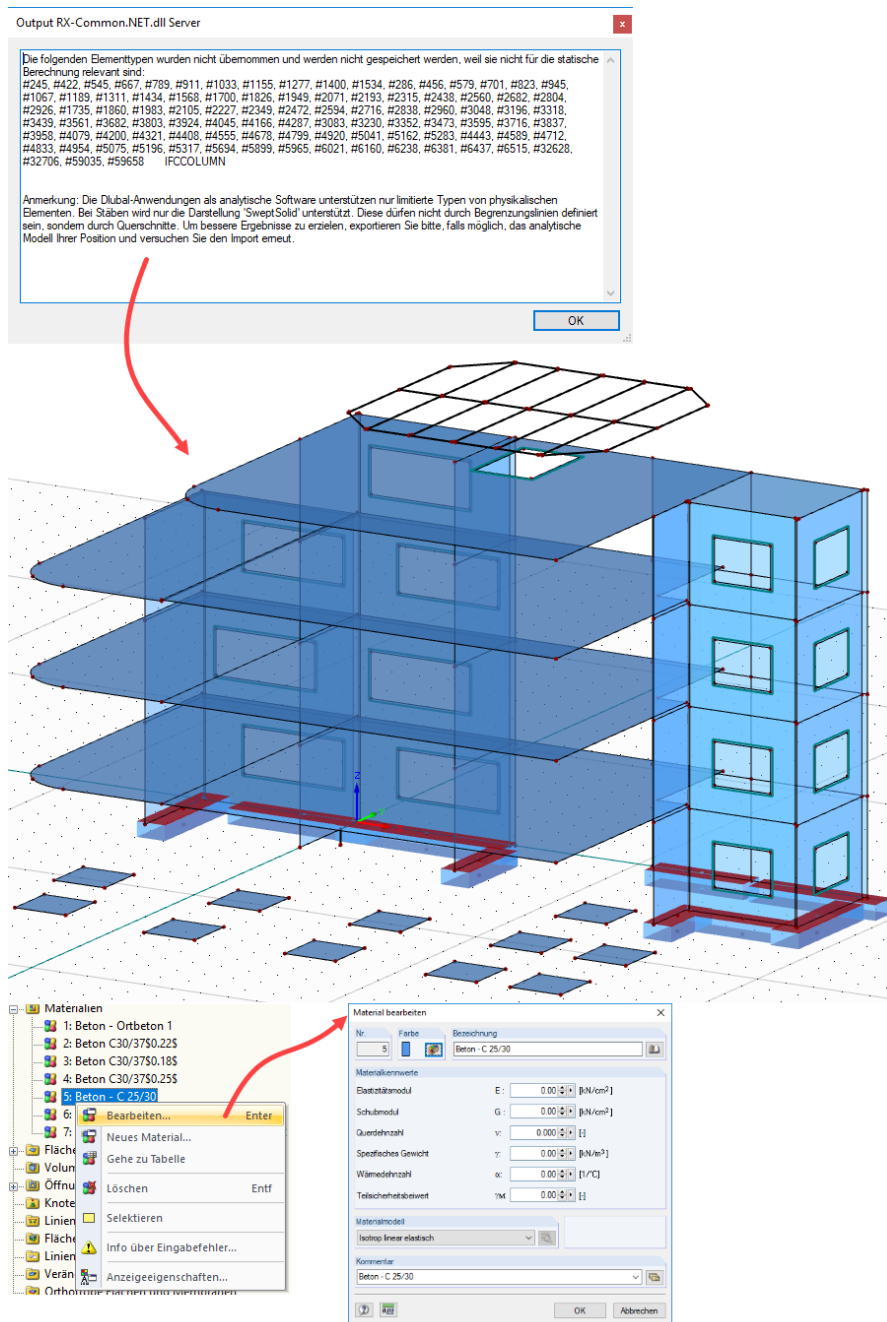


Abb. 6.26 Hinweismeldung: Stützen wurden nicht übernommen. Der Stahlkonstruktion wurden keine Querschnitte übergeben. Materialien wurden ebenfalls nicht erkannt. [44]

## 6.4 Beispielprojekt 3 – Datenaustausch mittels direkter und nativer Schnittstelle

Während das CAD-Programm Revit eine direkte Schnittstelle zu beiden verwendeten Statikprogrammen RFEM und SOFiSTiK anbietet und Allplan nicht, wurde auch nur der Datenaustausch zwischen Revit und den statischen Berechnungsprogrammen untersucht. Als Beispielprojekt wird das in Kapitel 6.3.2 verwendete mehrgeschossige Gebäude hergenommen.

### 6.4.1 Revit zu RFEM

Ist Revit neben RFEM installiert, steht die direkte Schnittstelle als Plugin in Revit zur Verfügung. Alle Einstellungen zum Datenaustausch werden dann auf der Revit-Oberfläche vorgenommen. Da RFEM auf einem objektorientierten Gebäudemodell basiert, Revit auf der parametrischen Gebäudemodellierung, geht die Intelligenz der Objekte beim Datenaustausch nicht verloren. Das bedeutet, dass der Anwender für eine Stütze oder einen Träger wieder ein gleichwertiges Objekt in Revit und RFEM erhält und nicht nur eine Ansammlung von Linien oder Flächen.

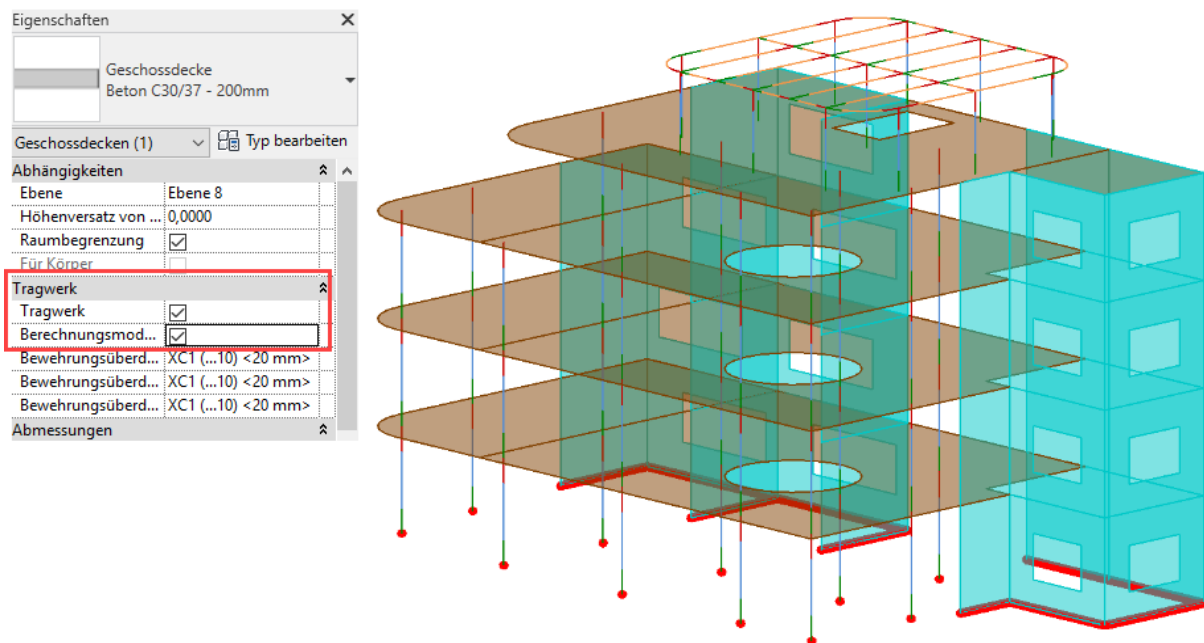


Abb. 6.27 Berechnungsmodell in Revit [44]

In Revit besteht die Möglichkeit bei der Modellierung eines Gebäudes ein gleichzeitig auch ein statisches Analysemodell zu erzeugen. Wichtig dabei ist, dass die tragenden Bauteile auch als solche gekennzeichnet werden und das Berechnungsmodell aktiviert



ist. Über das Berechnungsmodell können in Revit Lasten, Auflagerbedingungen und Gelenke definiert werden. Es wird allerdings empfohlen, die statischen Detaillierungen in den Statikprogrammen vorzunehmen, da diese auch dafür ausgelegt sind.

Beim Export des Gebäudes können noch zusätzliche Optionen bezüglich allgemeiner und tragwerksspezifischer Einstellungen vorgenommen werden. Beispielsweise kann unter den Tragwerkeinstellungen ausgewählt werden, ob Einzelfundamente in Knotenlager oder Fläche mit elastischer Bettung umgewandelt werden. Auch die Berücksichtigung von Lasten wie dem Eigengewicht kann hier angehakt werden. Somit muss dieser Lastfall nach dem Import in RFEM nicht mehr manuell erstellt werden.

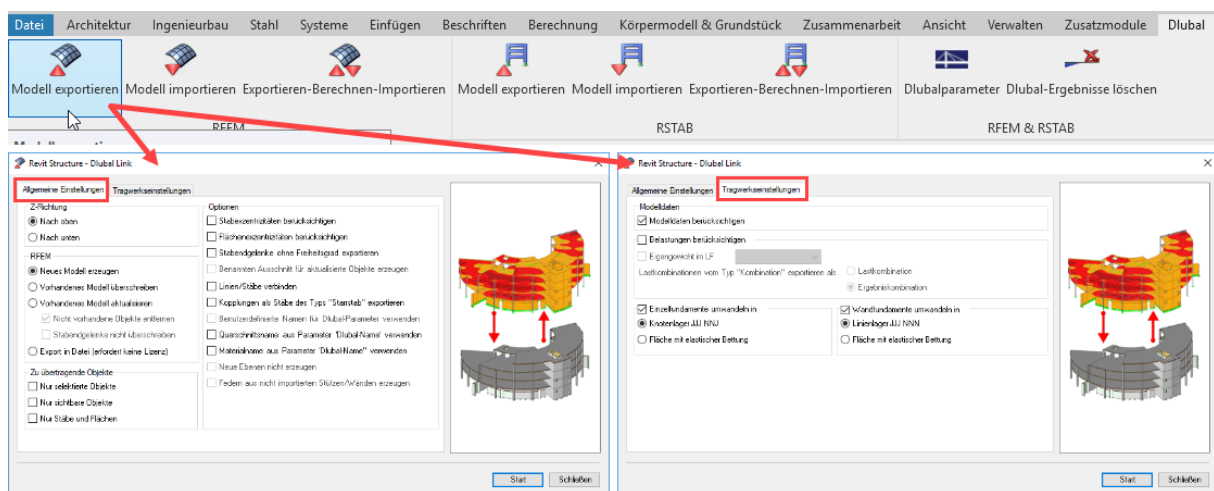


Abb. 6.28 Einstellungsmöglichkeiten beim Export [44]

Am Ende des Exportvorgangs öffnet sich in RFEM automatisch das importierte Modell. Das statische Modell in RFEM entspricht letztendlich dem Berechnungsmodell aus Revit. Der Anwender erhält ein fehlerfreies Modell, sodass es anschließend gleich berechnet werden könnte ohne Fehlermeldungen zu bekommen. Dies bestätigt auch die Plausibilitätskontrolle, die das Modell in RFEM auf Vollständigkeit überprüft. Die Materialien, Querschnitte, Auflager und Gelenkdefinitionen wurden alle richtig übertragen.

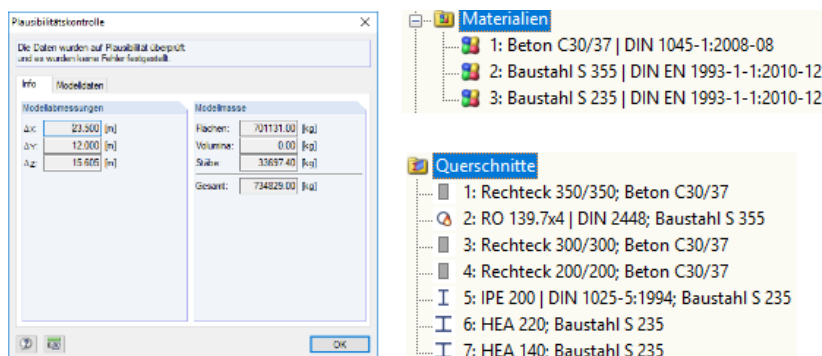


Abb. 6.29 Fehlerfreie Modellüberprüfung und Übertragung der Materialien und Querschnitte [44]

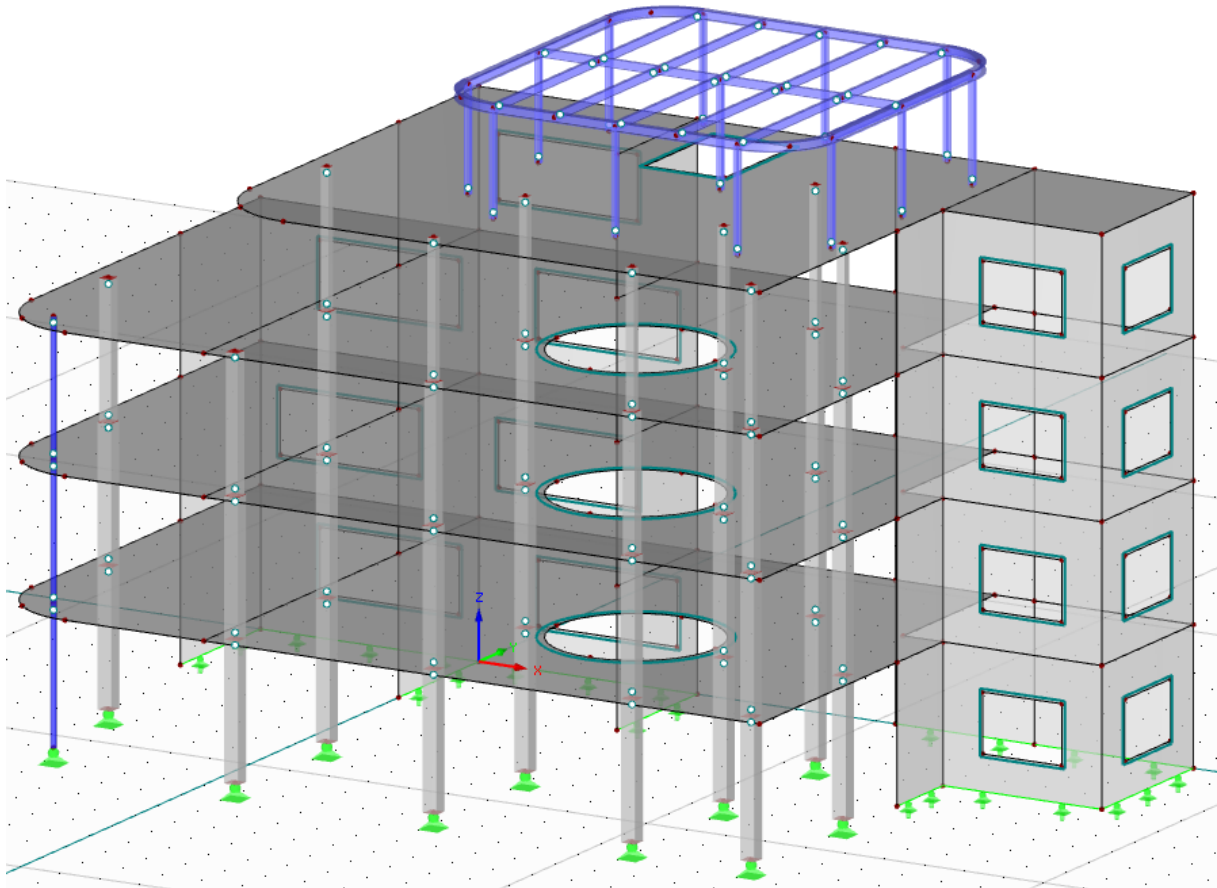


Abb. 6.30 Importiertes Statikmodell in RFEM [44]

Ein großer Vorteil dieser nativen Schnittstelle ist der ständige Modellabgleich. Ändern sich einmal Querschnitte oder Materialien, so können diese im jeweils anderen Programm aktualisiert werden. Neue Bauteile werden automatisch ergänzt und gelöschte Konstruktionsteile entfernt.

Nach der Berechnung mit RFEM können die Schnittgrößen, Verformungen sowie die Bewehrungsergebnisse an Revit übergeben werden. Es stehen hierfür sowohl eine entsprechende Ansicht, die automatisch generiert wird als auch der Ergebnis-Explorer (Structural Analysis Toolkit von Autodesk) zur Verfügung. Definierte Bewehrungssätze aus dem Zusatzmodul RF-BETON Flächen können sogar direkt als Bewehrungsobjekte in Revit importiert bzw. generiert werden. Hierfür können in RF-BETON Flächen optional Flächen-, Rechteck-, Vieleck- und Rundbewehrungsbereiche gewählt werden. Neben Stabbewehrung lässt sich auch Mattenbewehrung übertragen.

# Szenario – Workflow zwischen Architekt und Statiker

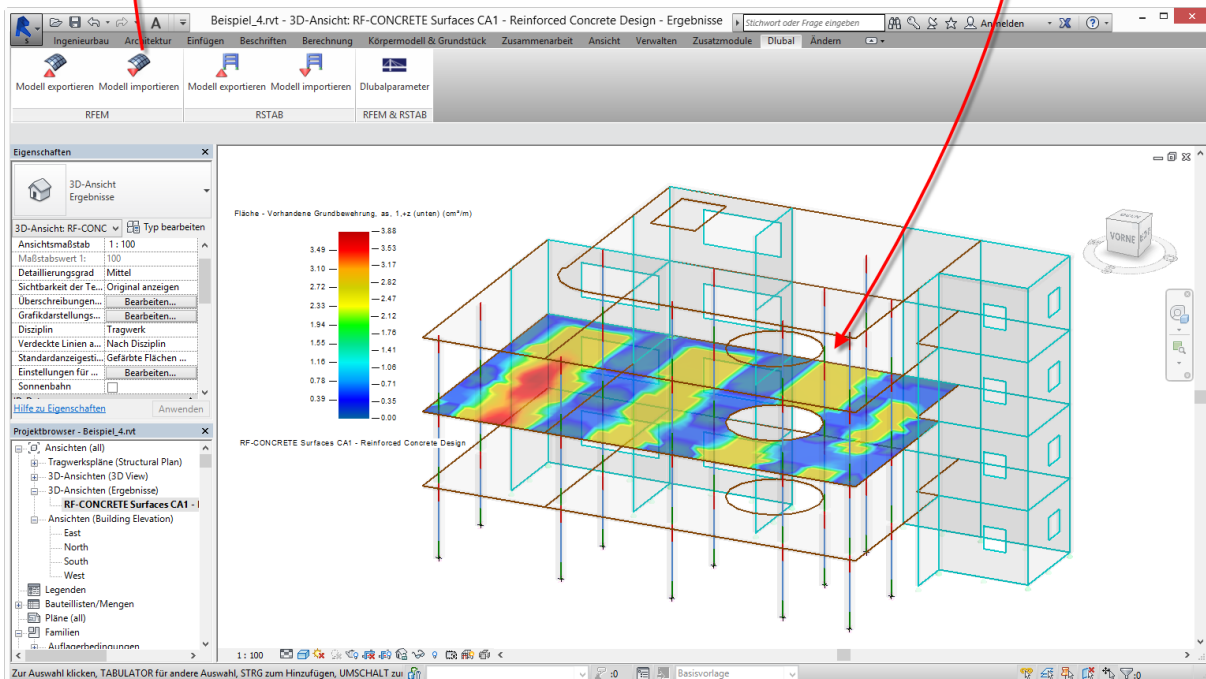
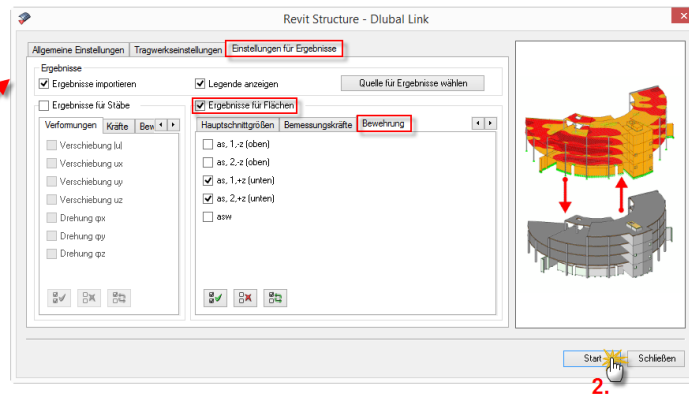
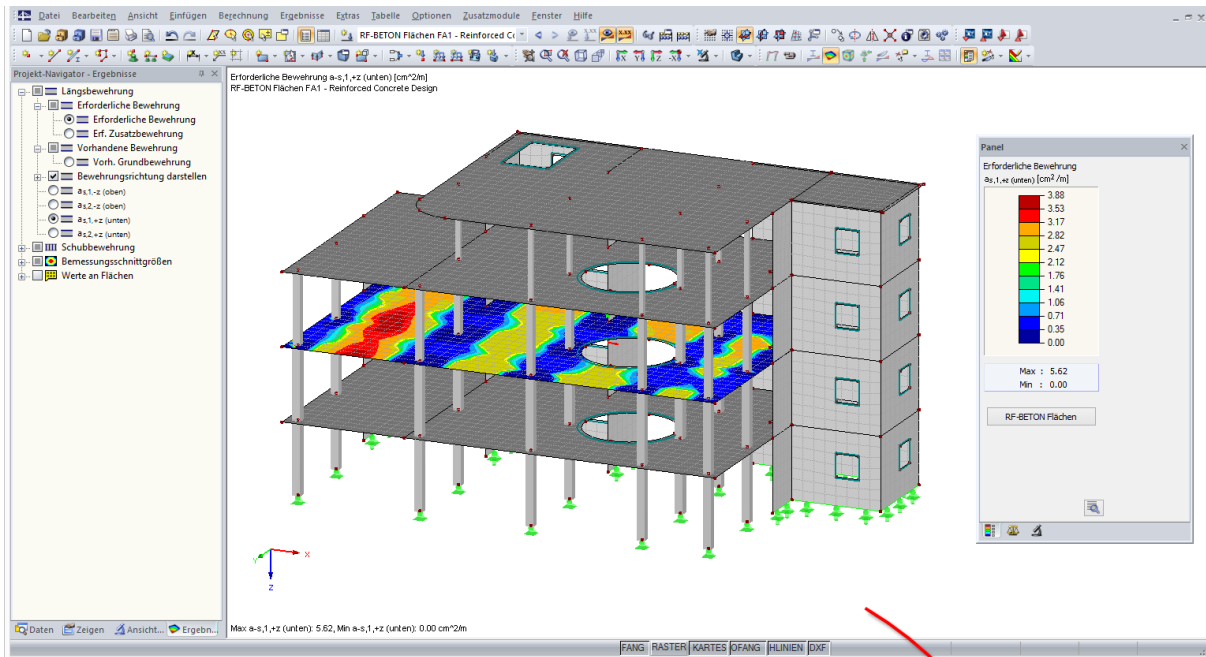


Abb. 6.31 Export der Bewehrungsmengen aus RFEM nach Revit [44]

## 6.4.2 Revit zu SOFiSTiK

Dank der Verknüpfung zwischen Revit® Structure und den Lösungen für die Tragwerksbemessung von SOFiSTiK ist eine nahtlose Integration zwischen Architektur und Tragwerksbemessung möglich. Mithilfe der SOFiSTiK FEA Extension kann aus einem Revit® Berechnungsmodell ein 3D Finite-Elemente-Modell inklusive Lasten und Randbedingungen generiert werden. Zusätzlich können noch weitere Eigenschaften wie Randgelenke an Plattenkanten oder effektive Breiten für Plattenbalken in Revit definiert werden und durch die FEA Extension übernommen werden.

Das Projektbeispiel ist das gleiche wie in Kapitel 6.4.1, lediglich die Eingabe zweier Lastfälle (Ausbau + Nutzlast) sowie die Bildung einer Lastkombination wurden hinzugefügt.

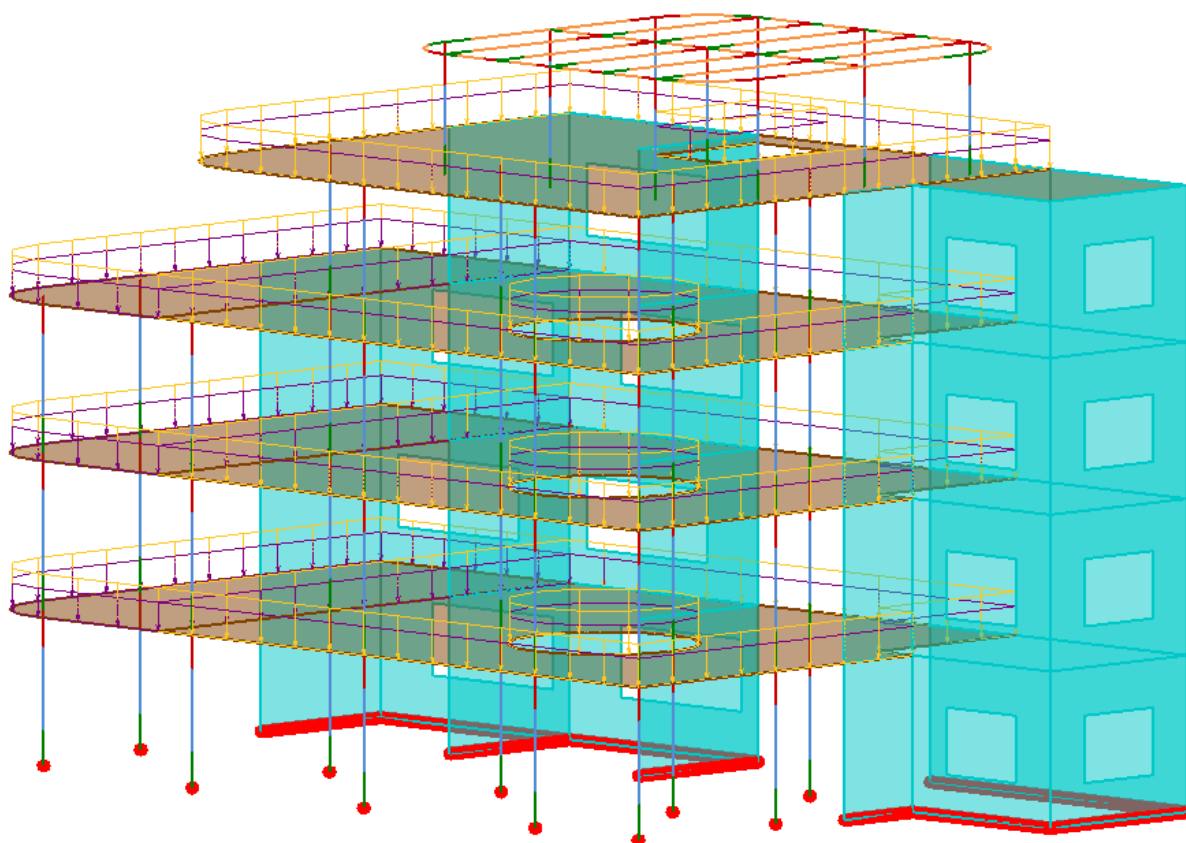


Abb. 6.32 Berechnungsmodell mit Belastungen zweier Lastfälle [44]

Bevor das Berechnungsmodell exportiert wird, müssen einige Vorkehrungen noch getroffen werden. Zum einen müssen Querschnitte, Materialien und Lasten zugeordnet werden, zum anderen muss das System einer FE-Vernetzung sowie einer Analysekontrolle unterzogen werden, sodass es generiert werden kann.

## Szenario – Workflow zwischen Architekt und Statiker

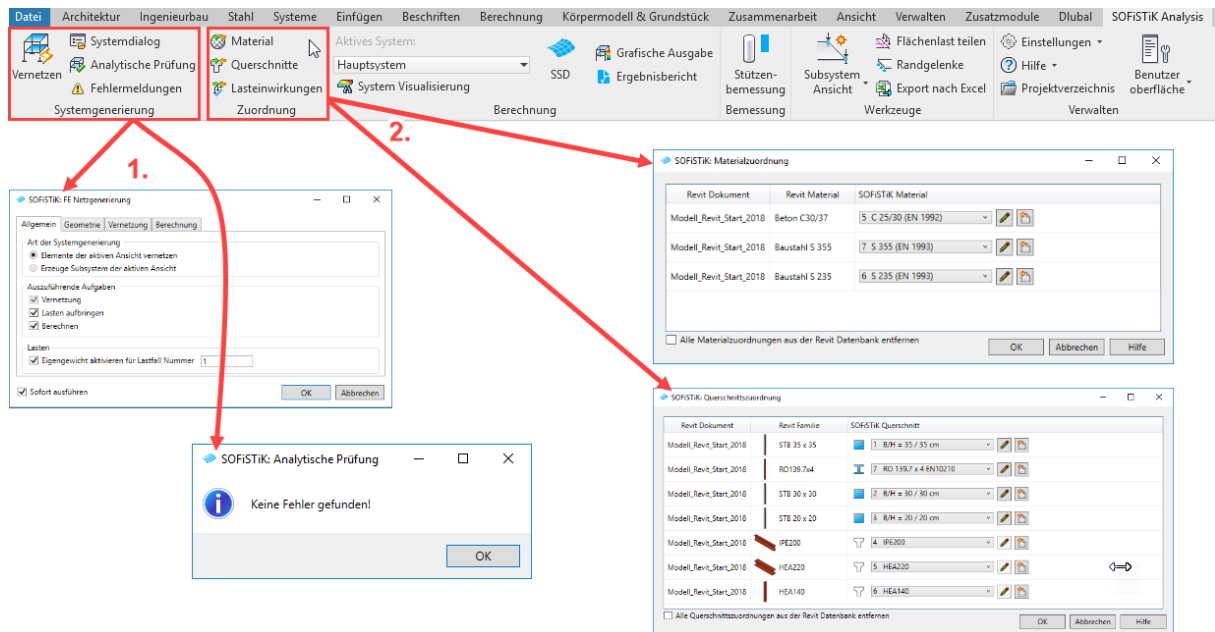


Abb. 6.33 Zu treffende Maßnahmen und Vorgänge für den Export nach SOFiSTiK [44]

Anschließend kann ein Export mit dem SOFiSTiK Structural Desktop (SSD) durchgeführt werden, der eine weiterführende Berechnung und Bemessung der FE-Systeme und Subsysteme auf Grundlage einer Vielzahl von Normen ermöglicht. Der SSD arbeitet Aufgaben (=Task) orientiert. Die Tasks sind in Gruppen angeordnet, sodass in der Gruppe „System und Belastung“ die Tasks Materialien, Querschnitte und Lasten beinhaltet sind. So hat der Anwender die Möglichkeit sein System systematisch aufzubauen, angefangen bei der System- und Belastungseingabe über die Berechnung der Lastfälle und Lastkombinationen bis zur Bemessung der Stab- und Flächentragwerke.

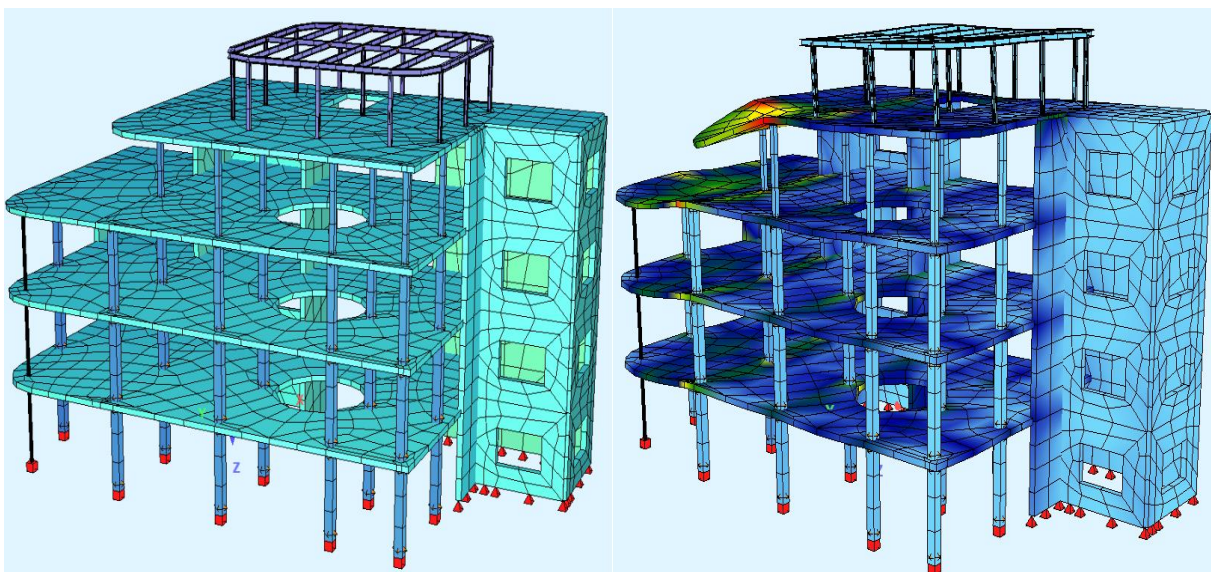


Abb. 6.34 3D-FEM-Modell (links) und berechnetes FEM-Modell (rechts) [44]

Über den **SOFiSTiK Reinforcement Generation (RCG)** ist es nachher möglich, aus den SOFiSTiK-Bemessungsergebnissen ein 3D-Bewehrungsmodell in Revit zu erzeugen. Dabei deckt der automatisch generierte Bewehrungsvorschlag die erforderliche Bewehrung ab und ist selbstverständlich auch manuell editierbar. So lassen sich beispielsweise wirtschaftlich günstigere oder auch konstruktiv bessere Bewehrungsführungen anordnen.

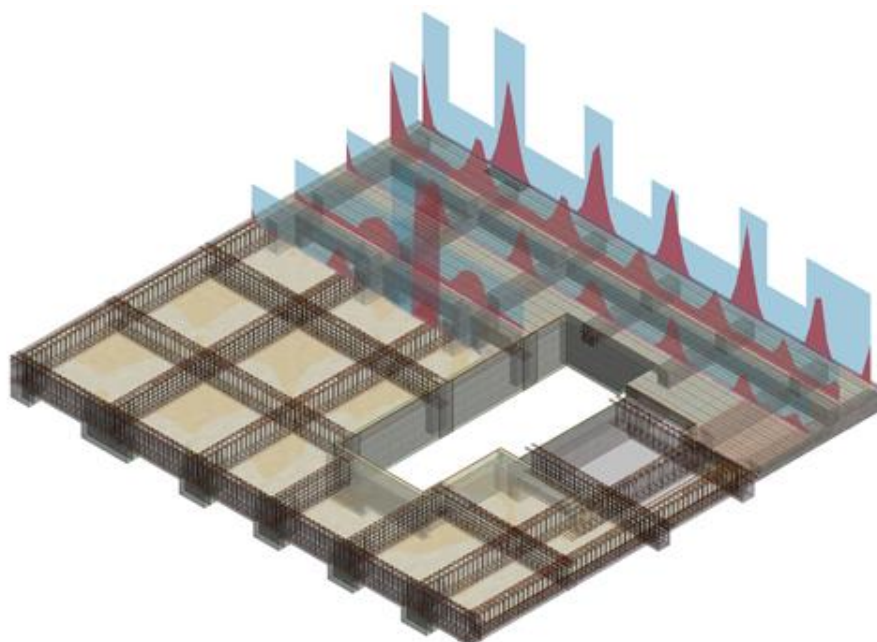


Abb. 6.35 Automatisch generierte Bewehrung unter Berücksichtigung der erforderlichen Bewehrung [34]

Abschließend lassen sich mit **SOFiSTiK Reinforcement Detailing (RCD)** 2D-Bewehrungspläne erzeugen. Dabei können bewehrungsspezifische Details wie Positionsnummernvergaben und Bewehrungsauszüge vorgenommen werden. Außerdem kann das Tool Biege- und Mattenschneideskizzen als PDF-Format ausgeben.

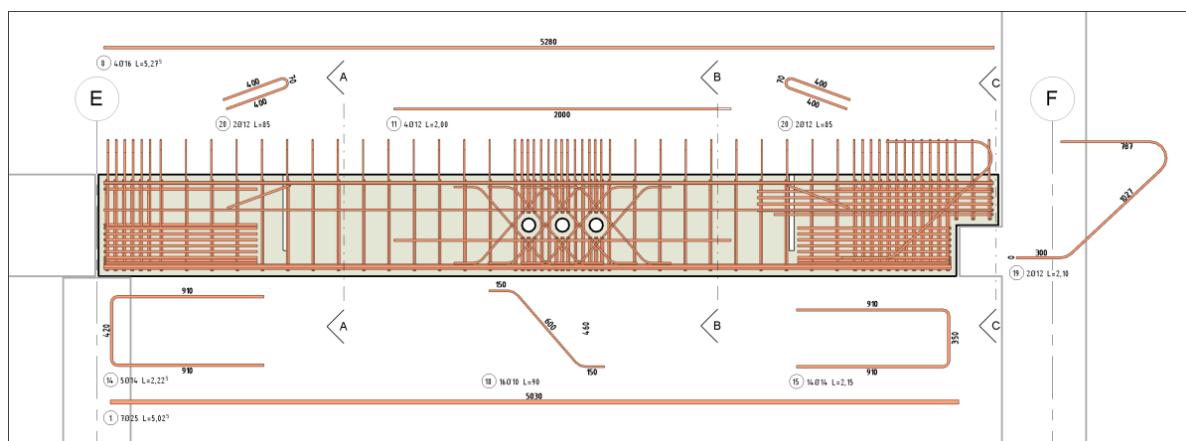


Abb. 6.36 Erzeugter Bewehrungsplan eines Stahlbetonträgers mit Ausklinkung [34]

## 6.5 Empfehlungen für einen erfolgreichen Datenaustausch

Zusammenfassend werden hier die wichtigsten Erfolgsfaktoren für einen effizienten und praxistauglichen Datenaustausch aufgezählt. Diese sind größtenteils aus [35] entnommen und lassen sich deshalb auch gut auf die vorher gezeigten Beispiele übertragen.

### 1. Aufbau des BIM-Modells unter der Berücksichtigung von Tragwerksaspekten

In einem BIM-Prozess sollte der Tragwerksplaner schon frühzeitig bei der Entwurfs- und Erstellungsphase des Gebäudemodells eingebunden werden. Er kann in Zusammenarbeit mit den Architekten entscheiden, welche tragwerksspezifischen Gesichtspunkte bei der Modellierung beachtet werden müssen. Von Vorteil sind auch festgelegte Standards für Material- und Querschnittsbezeichnungen (Mapping-Tabellen). So wird sichergestellt, dass auch diese Eigenschaften richtig übertragen werden und keine verfälscht oder vergessen werden. Während für die Tragwerksbemessung vereinfachte, mechanische Systeme benutzt werden, müssen aus diesem Grund auch Bauteile funktionsgerecht und einheitlich modelliert werden. In der Baustatik ist nämlich eine Stahlbetondecke ein Flächenelement und Stahlträger ein Stabobjekt. Zudem empfiehlt es sich die Modellierung von Wänden, Decken und Stützen abschnittgerecht und geschossweise durchzuführen, sodass die Statikprogramme diese Informationen besser verarbeiten können.

### 2. Festlegung des Umfangs und Inhalts bei der Datenübergabe

In diesem Prozess muss geklärt werden, wer für das idealisierte statische Modell verantwortlich ist. Wird es in einer BIM- oder Statiksoftware erstellt? Des Weiteren sollte auch überlegt werden, welche Informationen übergeben werden. Reicht es, wenn nur geometrische Abmessungen und die statischen Wirklinien weitergegeben werden, oder müssen auch weitere statische Informationen wie Lager und Gelenke übertragen werden? In der gängigen Baupraxis sind die Statikprogramme dafür besser geeignet zusätzliche Informationen wie Gelenkdefinitionen, Lasten und Lastkombinationen zu erzeugen. Folglich stellt sich die nächste Frage, wer Lastfälle, Lasten und Lastkombinationen definiert. Ist es der Entwurfsverfasser des BIM-Modells oder der Tragwerksplaner? Die Baustatiker sollten sich deshalb in Absprache mit den Verantwortlichen des BIM-Modells über die klare Rollenverteilung

Gedanken machen, wer zu was befugt ist. Dieser Fall tritt auch häufig bei Veränderungen auf. Diese können unter anderem das Verschieben und Hinzufügen sowie Entfernen von tragenden Bauteilen beinhalten.

### **3. Definition von Arbeitsabschnitten**

Hierbei sollte der Frage nachgegangen werden, wer wann in welchem Modellbereich arbeitet. Häufig arbeiten mehrere Teilnehmer an unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes, sodass es schnell zu Abstimmungsproblemen kommen kann. Daher bedarf es einer klaren und strukturierten Arbeitseinteilung der Modelle sowie einer transparenten Kommunikation unter den Fachplanern. Außerdem sollte ein gleichzeitiges Bearbeiten identischer Bauteile vermieden werden. So kann eine bessere Übersicht erhalten bleiben und der aktuelle Stand der Pläne wird dadurch nicht gefährdet.

### **4. Test der Austauschscenarien**

Bevor Projekte mithilfe von BIM-Software und Statikprogrammen durchgeführt werden, müssen sich die Tragwerksplaner auch über die Austauschformate und Schnittstellen ihrer Programme informieren. Es hilft nicht, wenn in Ingenieurbüros keine BIM-fähigen Programme vorhanden sind. Gleichzeitig ist auch nicht sinnvoll nur wegen des einen Projektes komplett auf BIM-fähige Software umzusteigen, da dies mit hohen Kosten und langen Einarbeitungszeiten verbunden ist. Daher empfiehlt es sich bei den Produktherstellern genauestens zu informieren, in welchem Umfang sie als BIM-Software geeignet sind. Welche Austauschformate können sie importieren und exportieren? Bestehen direkte Schnittstellen zu statischen Berechnungsprogrammen? Deshalb sollten anfangs Tests an überschaubaren Modellen mit definierten Austauschobjekten durchgeführt werden.

### **5. Verbindliche Regelungen für BIM-Modelle**

Ein Datenaustausch in einem BIM-Prozess soll nicht nur in einem Datei-Format stattfinden. Das kann es auch gar nicht, da zu viele unterschiedliche Softwareanwendungen benutzt werden, die jeweils ihre eigenen Formate besitzen. Daher sollten mehrere Formate bei einem Datenaustausch akzeptiert werden, die möglichst viele Programme unterstützen können. Darunter sind die Dateiformate IFC, DWG/DXF, PDF, SDNF, STEP und weitere zu finden. Zusätzlich werden dadurch die Austauschmöglichkeiten erweitert, sodass eine Prüfung und Gegenüberstellung der Modelle ermöglicht wird.



## 7 Fazit

Building Information Modeling ist eine innovative, moderne und führungsweisende Arbeitsmethode. Sie wird die Zukunft des Bauens und Planens wesentlich und nachhaltig verändern. Durch die enormen Vorteile der Effizienzgewinne in nahezu allen wichtigen Bereichen des Bauwesens versprechen sich Architekten, Ingenieure und Bauherren große Erfolge beim Einsatz von BIM. Dass die BIM-orientierte Planung funktioniert, beweisen bereits führende Länder, die diese Arbeitsweise schon früh eingesetzt haben. Doch die Begeisterung in Deutschland hält sich in Grenzen, sodass sich diese Technologie noch am Anfang ihrer vielleicht unendlichen Möglichkeiten und Chancen befindet. Viel mehr wird BIM auch über ein gutes Marketing seitens der Beteiligten, die es bereits nutzen, bis in die höchsten Tönen gelobt. So sollte die Bauindustrie auch auf dem Boden der Tatsachen bleiben und der Wahrheit ins Auge blicken. Denn aktuell verwenden zu wenige Anwender diese Planungsmethode, denn die Realität ist in deutschen Planungsbüros und ausführenden Betrieben eine Andere. Vor allem im Bereich der Tragwerksplanung, die nur einen kleinen Teil eines ganzen BIM-Prozesses abbildet, überwiegen immer noch traditionelle Arbeitsweisen.

Die gängige Baupraxis in der Tragwerksplanung und die im letzten Kapitel gezeigten Beispiele zeigen, dass ein von BIM gewünschter offener Datenaustausch mittels IFC-Schnittstelle ohne weiteres nicht einfach umzusetzen ist. Zu hoch war die Fehleranfälligkeit des Datenaustausches, die neben Informationsverlusten auch verfälschte Daten beinhaltete. Hinzu kommt die erneute Modelleingabe trotz eines bereits erstellten BIM-Modells. So ist es auch kein Wunder, dass wenige Baustatiker die IFC-Schnittstelle benutzen, da sie bis jetzt noch keinen Mehrwert bietet. Dagegen sind die nativen Schnittstellen ein wahrer Segen für Anwender der Architektur- und Statikprogramme. Dank der direkten Kopplung zwischen CAD und Statik kann wirtschaftlich und sicher geplant werden, sodass Planungs- und Übernahmefehler minimiert werden. Ein effektiver BIM-Prozess erfordert daher, ein frühzeitiges Einbinden des Tragwerksplaners, um essenzielle Gesichtspunkte der Tragwerksplanung und des Datenaustausches bereits bei der Erstellung des BIM-Modells behandeln zu können. Denn BIM und Statik-Modell sind in ihrer Natur grundsätzlich verschieden und die Ableitung von Statik aus BIM-Modellen ist nicht immer automatisch und eindeutig möglich.

Auf dem Markt finden sich zahlreiche Softwarehersteller, die mit anderen Programmen kooperieren können. Viele Hersteller arbeiten schon jetzt untereinander zusammen, um bessere Marktpositionen zu gewinnen. So haben die Programme Revit, SOFiSTiK und RFEM gezeigt, dass sie bei der gemeinsamen Entwicklung der direkten Schnittstellen viel Wert auf Interoperabilität legen. Ein verlustfreier Datenaustausch ist nämlich das Fundament eines erfolgreichen BIM-Workflows. Die Bemühungen dieser Softwarehersteller sollten deshalb auch in die Weiterentwicklung und Verbesserung der IFC-Schnittstelle fließen, sodass die Softwareentwickler als Förderer des BIM eine maßgebliche Rolle spielen würden. Zudem muss auch der Verein buildingSMART die Entwicklung der IFC-Schnittstelle weiter fördern und Verantwortung übernehmen, besonders im Bereich der Tragwerksplanung, da die praxistauglichen Austauschprozesse noch zu fehleranfällig sind. Es ist nämlich nur eine Frage der Zeit bis IFC-Daten künftig verpflichtend sein werden und der Austausch von offenen Datenformaten immer mehr an Bedeutung gewinnt. Demzufolge müssen die Softwarehäuser sowie die Vereine gemeinsam intensiv daran arbeiten, die Entwicklung ihrer IFC-Schnittstellen voranzutreiben. Sie sollten die Chance nutzen, sich auf diese Entwicklung vorzubereiten und sie gegebenenfalls sogar positiv beeinflussen.

Die BIM-Methode findet hauptsächlich im Ausland bedeutende Anwendung. Um den Anschluss an andere Länder nicht zu verlieren, bedeutet es für deutsche BIM-Nutzer, diese Technologie und ihre Herausforderungen anzunehmen, aber auch gleichzeitig Chancen zu ergreifen, ihre Planungsprozesse zu optimieren. Daher sollte ein großer Fokus auf die Ausbildung, Weiterbildung und Selbststudium aller BIM-Beteiligten gelegt werden. Nur durch das Wissen und die Erfahrungen kann der Weg des Building Information Modeling maßgeblich und positiv mitgestaltet werden, sodass einem umfassenden Wandel im Bauwesen nichts im Wege stehen dürfte.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] **Sommer, Hans** (2016): Projektmanagement im Hochbau. Mit BIM und Lean Management, 4. Aufl., Berlin: Springer Vieweg Verlag.
- [2] **Bayer, Bernhard** (2015): „Warum BIM nicht neu ist“, in: BIM – Building Information Modeling, Verlag Ernst & Sohn Special, November 2015, S. 22-24
- [3] **Przybylo, Jakob** (2015): BIM – Einstieg kompakt. Die wichtigsten BIM-Prinzipien in Projekt und Unternehmen, 1. Aufl., Berlin: Beuth Verlag.
- [4] **Egger, Martin et al.** (2013): BIM Leitfaden für Deutschland. Information und Ratgeber, Forschungsprogramm ZukunftBau.
- [5] **Borrmann, André et al.** (2015): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.
- [6] **Fischnaller, Martin** (2017): „BIM in der Tragwerksplanung. Erfahrungen aus der Praxis der AJG Ingenieure“, in: Umriss – Zeitschrift für Baukultur 17. Jg., Nr.1, S. 6-12
- [7] **Roland Berger GmbH** (2016): Digitalisierung der Bauwirtschaft – Der europäische Weg zu Construction 4.0, <https://www.rolandberger.com/de/press/Digitalisierung-der-Baubranche.html> [Abruf am 01.09.2018].
- [8] **Díaz, Joaquín** (2016): BIM in der Ingenieurbauplanung. BBIT 2016, [https://www-docs.b-tu.de/fg-statik-dynamik/public/foerderverein/bbit/bbit2016/160311\\_BBIT\\_Vortrag\\_Diaz.pdf](https://www-docs.b-tu.de/fg-statik-dynamik/public/foerderverein/bbit/bbit2016/160311_BBIT_Vortrag_Diaz.pdf) [Abruf am 05.09.2018].
- [9] **Maier, Claus; Ernst Basler + Partner** (2016): Building Information Modeling. Grundzüge einer open BIM Methodik für die Schweiz, <https://www.ebp.ch/sites/default/files/unterthema/uploads/ki-leitfaden-open-bim.pdf> [Abruf am 05.09.2018].
- [10] **Shockledge Ltd**  
<http://www.shockledge.com/bim/> [Abruf am 05.09.2018].
- [11] **N+P Redaktion** (2018): Vergleich von open BIM, closed BIM, little BIM, big BIM und connected BIM,  
<https://blog.nupis.de/vergleich-open-closed-little-big-bim-connected-bim/>  
[Abruf am 05.09.2018].

- [12] **Deutsche BauZeitschrift**: Open vs. Closed BIM. Was lohnt sich für mich?  
[http://www.dbz.de/artikel/dbz\\_Open\\_vs.\\_Closed\\_BIM.\\_Was\\_lohnt\\_sich\\_fuer\\_mich\\_\\_3191113.html](http://www.dbz.de/artikel/dbz_Open_vs._Closed_BIM._Was_lohnt_sich_fuer_mich__3191113.html)  
[Abruf am 05.09.2018].
- [13] **Niedermaier, Anke; Bäck, Robert; Allplan GmbH** (Dezember 2016): BIM-Kompendium. Theorie und Praxis, 3. Aktualisierte und erweiterte Aufl., München.
- [14] **Schachermayer Italia GmbH**: BIM im Ländervergleich, <http://www.schachermayer.it/de/unternehmen/news/?s=38896> [Abruf am 05.09.2018].
- [15] **Stufenplan Digitales Planen und Bauen** (2015): Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile) [Abruf am 05.09.2018].
- [16] **USIC** (2018): BIM-Umfrage 2018, [https://www.usic.ch/de/Verband/Umfragen/180509\\_usic\\_BIM\\_2018\\_Publikation\\_A4\\_DE\\_Web.pdf](https://www.usic.ch/de/Verband/Umfragen/180509_usic_BIM_2018_Publikation_A4_DE_Web.pdf)  
[Abruf am 05.09.2018].
- [17] **Heße, Markus** (2015): „BIM in Europa. Erfolgsstory für europäische Wandbaustoffhersteller“, in: BIM – Building Information Modeling, Verlag Ernst & Sohn Special, November 2015, S. 101-104
- [18] **Recknagel Online** (2017): Darum kommt BIM in Deutschland nicht voran, <https://www.recknagel-online.de/aktuell/publikationen/26-09-2017-darum-kommt-bim-in-deutschland-nicht-voran/> [Abruf am 25.09.2018].
- [19] **Hartmann, Ulrich** (2017): Globale BIM-Umfrage, <https://www.a-conex.com/blogs/de/globale-bim-umfrage/> [Abruf am 25.09.2018].
- [20] **Behaneck, Marian** (2015): Teil 1: Was kann BIM tatsächlich, was nicht und was ändert sich für Planer? Intelligenter planen, bauen und nutzen, <https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/technik/was-kann-bim-tatsaechlich/>  
[Abruf am 25.09.2018].
- [21] **Archigraphic** (2015): BIM vs. HOAI...?, <http://wordpress.archigraphic.de/blog/2015/04/19/bim-vs-hoai/> [Abruf am 25.09.2018].

- [22] **Černý, Martin** (2013): BIM Příručka, Praha.
- [23] **Krönert, Nils; Glockner, Oliver** (2016): BIM – Einstieg kompakt für Produkthersteller. Die Bedeutung von BIM für Hersteller, 1. Aufl., Berlin: Beuth Verlag.
- [24] **Aunkofer, Benjamin** (2009): CAD – GEOMETRIEMODELLIERUNG, <https://www.der-wirtschaftsingenieur.de/index.php/cad-geometriemodellierung/> [Abruf am 25.09.2018].
- [25] **InfoGraph GmbH**: IFC Datenaustausch, <https://www.infograph.de/de/ifc-datenaustausch> [Abruf am 25.09.2018].
- [26] **Barth, Christian; Rustler, Walter** (2013): Finite Elemente in der Baustatik-Praxis. Mit vielen Anwendungsbeispielen, 2. überarbeitete und erweiterte Aufl., Berlin: Bauwerk Verlag.
- [27] **Goris, Alfons; Bender, Michél**(2017): Stahlbetonbau-Praxis nach Eurocode 2, Band 2, 6. überarbeitete und erweiterte Aufl., Berlin: Bauwerk Verlag.
- [28] **Rombach, Günter** (2013): „EDV-Unterstützte Berechnungen im Stahlbetonbau“, in: Goris/Hegger/Mark (Hrsg.): Stahlbetonbau aktuell, Praxishandbuch 2014, Berlin: Bauwerk Verlag.
- [29] **Rombach, Günter** (1999): Anwendung der Finitite-Elemente-Methode im Betonbau. Fehlerquellen und ihre Vermeidung, Berlin: Verlag Ernst & Sohn.
- [30] **Dlupal Software GmbH**  
<https://www.dlupal.com/de/> [Abruf am 25.09.2018].
- [31] **Rustler, Walter** (2015): BIM in der Tragwerksplanung: Planungsablauf, Möglichkeiten und Chancen,  
<https://www.dlupal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001097> [Abruf am 25.09.2018].
- [32] **Katz, Casimir; Niggel, Andreas** (2017): „Aspekte der Tragwerksplanung in einem BIM-Umfeld“, in: Baustatik – Baupraxis 13, Bochum.
- [33] **Bischoff, Manfred; Bletzinger, Kai-Uwe** (2008): „Statik am Gesamtmodell – Möglichkeiten und Ansprüche“, in: Baustatik – Baupraxis 10, Karlsruhe.
- [34] **SOFiSTiK AG**  
<https://www.SOFiSTiK.de/produkte/bim-cad> [Abruf am 25.09.2018].

- [35] **Rustler, Walter** (2016): Building Information Modeling und Statiksoftware: Szenarien und Erfolgsfaktoren beim Datenaustausch, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001432> [Abruf am 25.09.2018].
- [36] **Albert, Andrej** (2018): Schneider. Bautabellen für Ingenieure, 23. Aufl., Köln: Bundesanzeiger.
- [37] **Clauß, Steffen** (2017): BIM-Workflow: Datenaustausch mittels IFC-Dateien, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001472> [Abruf am 25.09.2018].
- [38] **Dlubal Software GmbH**: BIM-orientierte Planung <https://www.dlubal.com/de/loesungen/anwendungsbereiche/building-information-modeling-bim/was-ist-bim> [Abruf am 25.09.2018].
- [39] **von Heyl, Jakob** (2015): BIM aus Bauherrensicht - Persönliche Erfahrungen, 3. Stuttgarter BIM-Seminar. Entwicklungstrend in der Praxis, [https://www.ibl.uni-stuttgart.de/fileadmin/seminarreihe/bim/2015/Sammelmappe\\_BIM2015.pdf](https://www.ibl.uni-stuttgart.de/fileadmin/seminarreihe/bim/2015/Sammelmappe_BIM2015.pdf) [Abruf am 05.09.2018].
- [40] **Data Design System GmbH**: Open BIM und IFC <https://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/> [Abruf am 25.09.2018].
- [41] **Minnert, Jens** (2016): Stahlbeton-Projekt. 5-geschossiges Büro- und Geschäftshaus, 4. Aufl., Berlin: Bauwerk Verlag.
- [42] **Allplan GmbH** <https://www.allplan.com/de/produkte/allplan-loesungsportfolio/> [Abruf am 25.09.2018].
- [43] **Autodesk, Inc.** <https://www.autodesk.de/products/revit/overview> [Abruf am 25.09.2018].
- [44] **Daniel Dlubal**  
selbst erstellte Unterlagen
- [45] **Eastman, Charles et al.** (2011): BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, Hoboken, New Jersey: Wiley