

Technische Universität München

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

# **Untersuchung des Structural Analysis Format (SAF) auf Eignung für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung**

Masterthesis

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor: Daniel Dlubal

Matrikelnummer:

1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André

2. Betreuer: Borrmann Simon

Vilgertshofer, M.Sc.

Ausgabedatum:

Abgabedatum: 01. März 2021

15. September 2021

## Vorwort

Die vorliegende Masterthesis handelt von BIM-relevanten Schnittstellen für die Tragwerksplanung. Dabei wird das Austauschformat Structural Analysis Format SAF genauer untersucht und beurteilt, inwieweit es sich für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung eignet. Die Arbeit entstand im Rahmen meines Masterstudiums des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität München.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben.

Da mir der BIM-basierte Datenaustausch in der Tragwerksplanung schon immer sehr am Herzen lag, gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. André Borrmann für den Vorschlag, die Masterarbeit am Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation zu schreiben sowie für seine Betreuung, Anmerkungen und Verbesserungen hinsichtlich meiner Arbeit. Gleichzeitig möchte ich meinem zweiten Betreuer Simon Vilgertshofer danken, dessen Organisation und Kommunikation ich sehr zu schätzen wusste.

Des Weiteren möchte ich mich bei unserem Team der Firma Dlubal Software bedanken. Insbesondere bei Lukas Sühnel, Ondrej Michal und Jaroslav Broz. Sie unterstützten mich bei der Beantwortung meiner Fragen und gaben mir einen tollen Einblick in die Implementierung unterschiedlicher Austauschformate. Ihre Erfahrungen in der Programmentwicklung halfen mir, die Thematik rund um Schnittstellen auch aus technischer Sicht weitestgehend gut zu verstehen.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken. Vor allem bei meiner Schwester Natalie Dlubal, die mich jederzeit motivierte, meine Arbeit jeden Tag einen kleinen Schritt weiter voranzubringen. Auch meiner Mutter Gabriele Dlubal und meinem Vater Georg Dlubal danke ich für die uneingeschränkte Unterstützung in der Erstellungsphase meiner Arbeit. Bei meiner Freundin Marina möchte ich mich für das Korrekturlesen und den mentalen Beistand, vor allem in der Schlussphase meiner Arbeit, von ganzem Herzen bedanken.

---

Der einfacheren Lesbarkeit willen, verzichte ich auf die gendergerechte Formulierung. Zumal meine Erfahrung zeigt, dass beim Großteil der Ingenieur\*innen die gendergerechte Ausdrucksweise im Vergleich zur Aufrichtigkeit von Aussagen eine eher untergeordnete Rolle einnimmt. Folglich sind in dieser Arbeit bei Gruppen wie „Tragwerksplanern“ oder „Ingenieuren“ immer beide Geschlechter gemeint.

## Abstract

The objective of this paper is to investigate the Structural Analysis Format (SAF), which is tailored for structural analysis, for its suitability for BIM-based structural design. To this end, the topic of BIM is initially classified in general in the context of structural design, whereby important aspects of structural analysis are highlighted as well. Special focus is placed on the cooperation between architects and structural engineers. With regard to interoperability, different variants of data transfer between CAD and structural analysis programs are shown. For each of these interfaces, advantages and disadvantages as well as their opportunities and difficulties are discussed. In order to answer the initial question regarding the usability of the SAF format, it is determined in the context of several data exchange scenarios that the SAF is on a good path for a BIM-oriented exchange of statically relevant data and that further improvements can be expected in the future. Finally, the master thesis is completed with a clear guideline for BIM-based structural design. This provides the reader with elementary recommendations to successfully participate in a BIM project.



## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das für die Statik zugeschnittene Structural Analysis Format (SAF) auf Eignung für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung zu untersuchen. Dazu wird anfangs das Thema BIM allgemein im Zusammenhang mit der Tragwerksplanung eingeordnet, wobei auch wichtige Aspekte der Tragwerksanalyse beleuchtet werden. Anschließend werden die gebräuchlichsten Schnittstellen für die Tragwerksplanung vorgestellt, die bei einem BIM-basierten Datenaustausch von Statikmodellen verwendet werden. Dabei wird ein besonderer Fokus auf die Zusammenarbeit von Architekten und Tragwerksplanern gelegt. Im Hinblick auf die Interoperabilität werden verschiedene Varianten des Datentransfers zwischen CAD- und Statikprogrammen aufgezeigt. Zu jeder dieser Schnittstellen werden Vor- und Nachteile sowie deren Chancen und Schwierigkeiten diskutiert. Um die Ausgangsfrage bezüglich der Verwendbarkeit des SAF-Formats zu beantworten, wird im Rahmen mehrerer Datenaustausch-Szenarien festgestellt, dass das SAF für einen BIM-orientierten Austausch von statisch relevanten Daten auf einem guten Weg ist und in Zukunft mit weiteren Verbesserungen zu rechnen ist. Abschließend wird die Masterthesis mit einem übersichtlichen Leitfaden für eine BIM-basierte Tragwerksplanung ergänzt. Dieser gibt dem Leser elementare Empfehlungen, um erfolgreich an einem BIM-Projekt teilzunehmen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>Glossar</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau und Inhalt.....	4
<b>2 BIM in der Theorie – Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Begriffsbestimmung: Was ist BIM? .....	5
2.2 Unterschiede zur herkömmlichen Planung: Was ändert sich? .....	6
2.2.1 Zusammenarbeit: Kommunikation und Daten .....	6
2.2.2 Verwaltung von Projektdokumenten.....	8
2.2.3 Durchgängigkeit und Management von Informationen.....	8
2.2.4 Aufwandsverlagerung .....	9
2.2.5 CAD vs. BIM.....	10
2.3 Bauwerksmodelle .....	11
2.3.1 Gesamtmodell.....	11
2.3.2 Fachmodell.....	12
2.3.3 Koordinationsmodell.....	15
2.4 Zwischenfazit.....	15
<b>3 BIM in der Tragwerksplanung</b>	<b>17</b>
3.1 Modelle in der Tragwerksplanung.....	17
3.1.1 Physikalisches Strukturmodell.....	18
3.1.2 Statisches Analysemodell .....	19
3.1.3 FEM- und Berechnungsmodell.....	21
3.2 Planungsablauf in der statischen Berechnung von Bauwerken .....	24
3.2.1 Traditionelle Tragwerksplanung .....	24

---

3.2.2	Tragwerksplanung im BIM-Prozess .....	28
3.3	Methoden und Ansätze in der BIM-Planung .....	32
3.3.1	little BIM .....	33
3.3.2	BIG BIM.....	35
3.3.3	Closed BIM.....	37
3.3.4	Open BIM.....	39
3.3.5	Weitere Methoden und Ansätze in der BIM-Planung .....	42
3.4	Statische Berechnung im BIM-Prozess .....	45
3.4.1	3D-Gebäudemodelle in der Baustatik .....	45
3.4.2	Konflikte bei der Modellierung und Detaillierung des Analysemodells .....	51
3.4.3	Material- und Querschnittsmapping .....	55
3.4.4	Lokale statische Einzel- und Detailnachweise.....	55
3.5	Weitere Herausforderungen und Schwierigkeiten.....	57
3.6	Weitere Chancen und Möglichkeiten .....	58
3.7	Zwischenfazit .....	60
<b>4</b>	<b>BIM-relevante Schnittstellen für die Tragwerksplanung</b>	<b>61</b>
4.1	Interoperabilität .....	62
4.1.1	Native Dateiformate .....	64
4.1.2	Direkte API-basierte Schnittstellen.....	65
4.2	Offene und indirekte Schnittstellen .....	70
4.2.1	Industry Foundation Classes – IFC .....	71
4.2.2	SAF – Format.....	91
4.3	Weitere Schnittstellen und Formate.....	109
4.3.1	Rhino und Grasshopper .....	109
4.3.2	Excel – XLS & CSV .....	110
4.3.3	DSTV – Produktschnittstelle Stahlbau .....	110
4.3.4	DXF .....	110
4.4	Zwischenfazit.....	111
<b>5</b>	<b>Datenaustausch-Szenarien</b>	<b>112</b>
5.1	Ablauf des Datentransfers .....	112
5.1.1	Referenzbeispiel .....	112
5.1.2	Detailpunkte .....	114

---

5.1.3	Szenarien .....	115
5.2	Szenario 1 – Direkter SAF-Datenaustausch .....	117
5.2.1	Verwendete Software .....	117
5.2.2	In Archicad .....	119
5.2.3	In RFEM 6 .....	125
5.2.4	Überprüfung .....	128
5.2.5	Bewertung .....	129
5.3	Szenario 2: Allplan – Bimplus – SCIA AutoConverter – SCIA Engineer	130
5.3.1	Verwendete Software .....	130
5.3.2	In Allplan .....	132
5.3.3	In Bimplus .....	134
5.3.4	In SCIA Autoconverter .....	135
5.3.5	In SCIA Engineer .....	139
5.3.6	Überprüfung .....	142
5.3.7	Bewertung .....	143
5.4	Zwischenfazit .....	144
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung</b>	<b>146</b>
6.1	Vor Projektbeginn .....	146
6.2	Bei Projektbeginn.....	147
6.3	Vorplanung .....	148
6.4	Entwurfsplanung .....	149
6.5	Genehmigungsplanung.....	150
6.6	Ausführungsplanung.....	152
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>154</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>156</b>
	<b>Bildquellen</b>	<b>164</b>
	<b>Anhang A</b>	<b>165</b>
	<b>Anhang B</b>	<b>166</b>
	<b>Anhang C</b>	<b>168</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Durchgängige Nutzung eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus [5] .....	6
Abb. 2.2	Informationsverluste durch Brüche im Informationsfluss während eines Bauwerkvorhabens [5] .....	7
Abb. 2.3	Traditioneller Informationsaustausch vs. BIM-basierten Projektablauf [86].....	7
Abb. 2.4	Unterschied der Informationsbasis auf traditionelle und BIM-basierte Arbeitsweise [11].....	9
Abb. 2.5	Aufwandsverlagerung und Einfluss auf Kostenentwicklung [12].....	10
Abb. 2.6	Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell [11] .....	11
Abb. 2.7	Al Ain Hospital. Nacheinander aufgereichte Fachmodelle der Gewerke Architektur, Tragwerk, TGA (v. l. n. r.) ergeben ein Gesamtmodell [11] .....	12
Abb. 2.8	Architekturmodell: Haus des Lernens in Essen [12] .....	13
Abb. 2.9	Tragwerksmodell [87] .....	14
Abb. 2.10	TGA-Modelle: Lüftungs- und Sanitärplanung [12].....	15
Abb. 2.11	Bildung eines Koordinationsmodells [10].....	16
Abb. 3.1	Reduzierung des Architekturmodells zu einem Tragwerks- und Analysemodell [84] .....	18
Abb. 3.2	Physikalisches Strukturmodell als Tragwerksmodell in Revit [84] .....	18
Abb. 3.3	Idealisiertes Analysemodell in Revit [84] .....	20
Abb. 3.4	FE-Berechnungsmodell in RFEM [84] .....	21
Abb. 3.5	Schematischer Ablauf einer FEM-Berechnung [17].....	22
Abb. 3.6	Bewehrungsmodell im Statikprogramm SOFiSTiK [88] .....	23
Abb. 3.7	Schalungsmodell eines Stahlbetongebäudes [13].....	24
Abb. 3.8	Statische Berechnungen an Teil- und Gesamtsystemen [17].....	26
Abb. 3.9	Konventionelle Tragwerksplanung im Stahlbetonbau in Anlehnung an [76] .....	27

---

Abb. 3.10	BIM-orientierte Tragwerksplanung im Stahlbetonbau [84].....	29
Abb. 3.11	Schematische Darstellung des BIM-Referenz-Prozesses [1] .....	30
Abb. 3.12	Übersicht über die Leistungsphasen in Anlehnung an [21].....	32
Abb. 3.13	Vor- und Nachteile bei little BIM [84] .....	34
Abb. 3.14	Vor- und Nachteile bei BIG BIM [84].....	36
Abb. 3.15	Vor- und Nachteile bei Closed BIM [84].....	38
Abb. 3.16	Vor- und Nachteile bei Open BIM [84] .....	41
Abb. 3.17	Vergleich und Unterschiede der BIM-Methoden in Anlehnung an [25].....	42
Abb. 3.18	Unterscheidung der BIM-Methoden anhand von Durchgängigkeit und Offenheit in Anlehnung an [25] .....	43
Abb. 3.19	Horizontaler und vertikaler Datenaustausch [29] .....	44
Abb. 3.20	Beispielhaftes Tragwerk zur Berücksichtigung von Einguss- und Baufortschrittsmodellen unter Eigengewicht in RFEM 6 (links: Eingussmodell; rechts: Baufortschrittsmodell) [84] .....	47
Abb. 3.21	Vor- und Nachteile von 2D- und 3D-Berechnungen in Anlehnung an [40].....	50
Abb. 3.22	Beispiel für den Bezug auf Systemlinien [17].....	51
Abb. 3.23	Bauteilversätze von der Tragwerksgeometrie (links) zum Berechnungsmodell (rechts) [84].....	52
Abb. 3.24	Unterschiedliche Diskretisierungsmodelle einer Voute [30].....	53
Abb. 3.25	Randnahe Wandöffnung [30].....	54
Abb. 3.26	Beispiel für Diskontinuitätsbereiche in Tragwerken [42] .....	56
Abb. 3.27	Gegenüberstellung erforderliche und eingelegte Bewehrung in Revit sowie automatische generierter Bewehrungsplan mit 3D- Visualisierung [34] .....	59
Abb. 4.1	Typischer BIM-Workflow in der Tragwerksplanung und der Tragwerksanalyse in Anlehnung an [44].....	61
Abb. 4.2	Interoperabilität – Schnittstellen in einem BIM-Umfeld [84] .....	63
Abb. 4.3	BIM-Workflow unter Softwareherstellern: Entwurf Revit, Berechnung RFEM, Konstruktion Tekla Structures [96] .....	64
Abb. 4.4	Analyse- bzw. in Revit genanntes Berechnungsmodell [84].....	66

---

Abb. 4.5	Beispiel für eine digitale BIM-gestützte Tragwerksplanung: Kindergarten in Schwoich, Österreich (© AGA-Bau) [95] Oben links: Physikalisches Revit-Modell; Unten links: Visualisiertes 3D-Modell des Kindergartens; Oben rechts: Analytisches Revit-Modell; Unten rechts: RFEM-Modell.....	67
Abb. 4.6	Bewehrungsgehalt in RFEM (oben) und Revit (unten) nach Export über direkte Schnittstelle [89] .....	69
Abb. 4.7	Angebot von Softwarewerkzeugen für diverse Anwendungsbereiche im Rahmen eines BIM-Projekts [90] .....	71
Abb. 4.8	Logo von buildingSMART, häufig auch mit IFC in Verbindung gebracht [91].....	71
Abb. 4.9	Übersicht der IFC-Versionen von 2000 bis heute, in Anlehnung an [8].....	74
Abb. 4.10	Darstellung der vorhandenen Elemente des Structural Analysis View (2x3) [59].....	77
Abb. 4.11	Übersicht über die enthaltenen und gewünschten Bausteine des SAV [84] .....	77
Abb. 4.12	Unterschied zwischen VC und SAV an einer Wand [57] .....	81
Abb. 4.13	Gegenüberstellung der Fachmodelle / Views [37]                    1. Coordination View (CV) – physisches Architekturmodell 2. Structural Analysis View (SAV) – analytisches Tragwerksmodell .....	82
Abb. 4.14	Konvertierung eines architektonischen Volumenkörpers in eine Fläche in RFEM 5 [57].....	83
Abb. 4.15	Analytisches Modell in RFEM nach einem IFC-Import mit nicht verbundenen Tragwerkselementen [84] .....	83
Abb. 4.16	Gegenüberstellung Volumen – Stab [64].....	84
Abb. 4.17	Ein einfach exportierter 2D-Rahmen aus RFEM 6 und die dazugehörige IFC-Datei.....	88
Abb. 4.18	Ausschnitt der zertifizierten Programme [58].....	90
Abb. 4.19	SAF – Logo [66].....	91
Abb. 4.20	Möglichkeiten zur Kommunikation zwischen BIM-Autoren- und Statikprogrammen vorwiegend ausgelegt innerhalb der Nemetschek Group [66].....	94

---

Abb. 4.21	Ein Beispiel einer tabellenbasierten relationalen Datenbank in RFEM 6 [84] .....	95
Abb. 4.22	Aufbau der SAF-Datei in Excel mit dem Objekttyp StructuralCurveMember [84].....	96
Abb. 4.23	SAF Objektrelation beim Objekttyp StructuralMaterial [66].....	97
Abb. 4.24	Unique ID's im SAF-Format [84].....	97
Abb. 4.25	IFC-Entitäten für Tragwerkselemente [92] .....	98
Abb. 4.26	Verschiedene unterstützte lokale Koordinatensysteme im SAF [66]98	
Abb. 4.27	Geometrische Linientypen im SAF [66] .....	99
Abb. 4.28	Bislang unterstützte Elementtypen des SAF-Formats [66] .....	100
Abb. 4.29	Unterstützte Querschnittsformen in einer SAF-Datei [84] .....	101
Abb. 4.30	Definition eines Polygons zur Erstellung eines allgemeinen Querschnitts [84] .....	105
Abb. 4.31	SAF-Implementierung verschiedener Softwarehäuser [66] .....	107
Abb. 4.32	Rhino – Logo [62] .....	109
Abb. 4.33	Grasshopper – Logo [68].....	109
Abb. 4.34	Excel – Logo [93].....	110
Abb. 4.35	DSTV – Logo [69] .....	110
Abb. 4.36	DXF – Logo [94] .....	110
Abb. 5.1	Referenzbeispiel in RFEM 5 [84] .....	113
Abb. 5.2	Detailpositionen im Modell [84].....	113
Abb. 5.2	Detail A [84] .....	114
Abb. 5.4	Detail B [84] .....	114
Abb. 5.5	Detail C [84].....	114
Abb. 5.6	Detail D [84].....	114
Abb. 5.7	Detail E [84] .....	115
Abb. 5.8	Detail F [84] .....	115
Abb. 5.9	Detail G [84].....	115
Abb. 5.10	Szenario 1: Archicad – RFEM [84] .....	116



---

Abb. 5.11	Szenario 2: Allplan – Bimplus – SCIA Autoconverter – SCIA Engineer [84] .....	116
Abb. 5.12	3D-Gebäudemodell in Archicad [84] .....	119
Abb. 5.13	Stützen-Eigenschaften als Tragwerksanalyse-Parameter [84] .....	120
Abb. 5.14	Ergänzung von zusätzlichen Informationen wie Material und Fertigungsart [84] .....	121
Abb. 5.15	Möglichkeiten zur Erstellung von Stahlprofilen .....	121
Abb. 5.16	Dachkonstruktion bestehend aus Stahlbauprofilen und rechteckigen Stahlbetonstäben .....	122
Abb. 5.17	Unbearbeitetes Tragwerksanalysemodell .....	123
Abb. 5.18	Einstellungsregeln für das Analysemodell, um Bauteile zu verbinden .....	123
Abb. 5.19	Überarbeitetes Tragwerksanalysemodell mit verbundenen Objekten .....	124
Abb. 5.20	Konvertierungstabellen in RFEM 6 .....	125
Abb. 5.21	Importiertes und unbearbeitetes Statikmodell in RFEM 6 [84] .....	126
Abb. 5.22	Korrigiertes Statikmodell in RFEM 6 [84] .....	126
Abb. 5.23	Identische Knoten werden zu gemeinsamen Knoten vereint [84] .....	127
Abb. 5.24	Verformung im Lastfall Eigengewicht in RFEM 6 [84] .....	127
Abb. 5.25	Detail F: Die mittlere Querschnittshöhe wurde in diesem Fall angenommen [84] .....	128
Abb. 5.26	Bewertungstabelle für das Datenaustausch-Szenario 1 [84] .....	129
Abb. 5.27	3D-Gebäudemodell in Allplan [84] .....	132
Abb. 5.28	Objekte erhalten wichtige Attribute [84] .....	133
Abb. 5.29	IFC-Exportoptionen .....	133
Abb. 5.30	IFC-Modell im Viewer von Bimplus sowie Ansteuerung des SCIA AutoConverters [84] .....	134
Abb. 5.31	SCIA AutoConverter – Oberfläche .....	135
Abb. 5.32	Die 3D-Geometrieobjekte werden für die Konvertierung berücksichtigt .....	136
Abb. 5.33	Erkennungseinstellungen für Bauteile, Querschnitte und Werkstoffe .....	136

---

Abb. 5.34	Konvertiertes Analysemodell ohne Anpassung .....	137
Abb. 5.35	Überarbeitetes und ausgerichtetes Analysemodell aus verschiedenen Ansichten.....	138
Abb. 5.36	Vier Teilmodelle für den SAF-Export [84] .....	139
Abb. 5.37	Zusammenführen der einzelnen SAF-Dateien zu einem Gesamtmodell [84] .....	140
Abb. 5.38	Zusammengeführtes und unbearbeitetes Statikmodell in SCIA Engineer 21 [84] .....	140
Abb. 5.39	Korrigiertes Statikmodell in SCIA Engineer 21 [84] .....	141
Abb. 5.40	Verformung im Lastfall Eigengewicht in RFEM 6 [84].....	142
Abb. 5.41	Bewertungstabelle für das Datenaustausch-Szenario 1 [84] .....	143

## 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
BAP	<b>B</b> IM- <b>A</b> bwicklungs <b>p</b> lan	
BCF	<b>B</b> IM <b>C</b> ollaboration <b>F</b> ormat	Offenes Format zur Kollaboration und Kommunikation
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	
CV	<b>C</b> oordination <b>V</b> iew	
DIN	<b>D</b> eutsches <b>I</b> nstitut für <b>N</b> ormung	
DTV	<b>D</b> esign <b>T</b> ransfer <b>V</b> iew	
DWG	<b>D</b> rawing	Austauschformat zum CAD-Datenaustausch
DXF	<b>D</b> rawing <b>I</b> nterchange <b>F</b> ile <b>F</b> ormat	Austauschformat zum CAD-Datenaustausch
FEM	<b>F</b> inite <b>E</b> lemente <b>M</b> ethode	
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
LPH	<b>L</b> eistungs <b>p</b> hase	HOAI-Leistungsphasen

---

MVD	<b>Model View Definition</b>	Definition der Modellansicht
RV	<b>Reference View</b>	
SAF	<b>Structural Analysis Format</b>	Datenaustauschformat für die Tragwerksplanung
SAV	<b>Structural Analysis View</b>	
STEP	<b>Standard for The Exchange of Product</b>	Standard für den Datenaustausch von Produktdaten
TGA	<b>Technische Gebäudeausrüstung</b>	
XML	<b>Extensible Markup Language</b>	Auszeichnungssprache

## Glossar

### **Analysemodell**

Das Analysemodell repräsentiert in den CAD-Programmen ein geometrisch idealisiertes und dimensionsreduziertes Modell des Bauteils, das für statische Berechnungen weiter an die Statikprogramme geleitet werden kann.

**Ähnliche Begriffe:** Analytisches Modell, Statisches Analysemodell

### **Architekturmodell**

Das Architekturmodell ist ein digitales Abbild des geplanten Bauwerks aus architektonischer Sicht und wird häufig als Basis für weitere Fachmodelle verwendet.

### **Auftraggeberinformationsanforderungen – AIA**

Die AIA beschreibt, wann welche Daten in welcher Detailtiefe und in welchem Format benötigt werden und gibt den Informations- beziehungsweise Datenfluss für alle Planer vor. Sie wird vom Bauherrn respektive Auftraggeber ausgearbeitet und dient als Grundlage für die Erstellung des BAP.

### **BIM-Abwicklungsplan – BAP**

Im BAP werden die Vorgehensweisen und genauen Abläufe aus dem Inhalt des zuvor definierten AIA bezüglich der Projektziele konkretisiert. Er wird grundsätzlich vom Auftragnehmer erstellt und beantwortet alle Fragen rund um die Verantwortlichkeiten in einem BIM-Prozess.

**Ähnliche Begriffe:** BIM-Projektentwicklungsplan

### **Bauwerksmodell**

Ein digitales Bauwerksmodell dient der Strukturierung aller für den Lebenszyklus von Gebäuden relevanten Daten und bildet die Grundlage für einen Austausch von Bauwerksinformationen.

**Ähnliche Begriffe:** BIM-Modell, digitales Gebäudemodell

### **BIM Collaboration Format – BCF**

Mithilfe des BCF können Koordinationsnachrichten mit anderen Projektpartnern ausgetauscht werden, um auf Kollisionen oder Verbesserungen im Modell hinzuweisen. Es ist ein offenes Standardformat, das offiziell von buildingSMART empfohlen wird.

## **Berechnungsmodell**

Das Ziel eines Berechnungsmodells und der FE-Methode ist die numerische Annäherung, Abbildung und Berechnung eines realen Tragwerks. Dabei werden statische Tragelemente wie Wände und Stützen als 2D-Elemente (z. B. Schreibe) und 1D-Elemente (z. B. Stab) idealisiert.

**Ähnliche Begriffe:** Statikmodell, FEM-Modell, FE-Modell, Numerisches Modell

## **BIG BIM**

BIG BIM basiert auf der Zusammenarbeit zwischen allen Projektbeteiligten und ist somit eine durchgängige sowie interdisziplinäre Anwendung der BIM-Methode.

## **BIM-Software**

Mit einer BIM-Software kann ein digitales Bauwerksmodell erstellt werden. Dafür werden hauptsächlich BIM-fähige CAD-Programme verwendet, die 3D-Gebäude mit zusätzlichen semantischen Informationen erzeugen können.

**Ähnliche Begriffe:** BIM-Autoren-Software, CAD-Software

**Beispiele:** Revit, Tekla Structures, Allplan, Archicad

## **buildingSMART e.V.**

Die unabhängige Organisation buildingSMART betreut, fördert und definiert offene Schnittstellen wie das IFC, um Projektabwicklungen im Bauwesen mittels effizienter Methoden durchgängiger und effektiver zu gestalten.

## **Closed BIM**

Bei einem Closed-BIM-Szenario arbeiten alle Planer mit der gleichen Softwareausstattung an einem Bauprojekt.

## **Coordination View – CV**

Der Coordination View ist eine Ansicht basierend auf dem IFC-Datenmodell und ist für die Koordinierung zwischen den Fachbereichen Architektur, Tragwerksplanung und Gebäudetechnik während der Planungsphase gedacht. Inhaltlich besteht es aus Definitionen zur räumlichen Struktur und enthält Informationen zu Bauwerks- und Tragwerkselementen.

## **Design Transfer View – DTV**

Bei der Sicht des DTV können alle Informationen des Modells ausgetauscht werden und in den Programmen der Projektbeteiligten Änderungen vorgenommen werden.

**Entität – Entity**

Eine Entität (*engl.* Entity) kann als Synonym für den Begriff Klasse verwendet werden und wird im IFC-Datenmodell bei der Zuordnung von IFC-Klassen benutzt.

**Fachmodell**

Das Fachmodell wird abhängig vom Fachplaner des jeweiligen Gewerks erstellt.

**Gesamtmodell**

Das Gesamtmodell beschreibt ein Bauwerksmodell, das durch die Zusammenstellung aller relevanten Fachmodelle entsteht.

**Ähnliche Begriffe:** Gebäudemodell, BIM-Modell

**Globally Unique Identifier – GUID**

Mithilfe sogenannter GUID's wird Bauteilobjekten eine eindeutige ID zugeordnet. Durch die Vergabe von GUID's sind Aktualisierungen und Updates von Modellen in beide Richtungen möglich.

**Ähnliche Begriffe:** ID, Unique ID

**Industry Foundation Classes – IFC**

Das IFC ist ein herstellerunabhängiges, offenes Datenmodell zum Austausch von digitalen Gebäudemodellen. Das Austauschformat wird von dem Verein buildingSMART unterstützt.

**Interoperabilität**

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

**Kollisionsprüfung**

Kollisionsprüfungen werden durchgeführt, um herauszufinden, ob unterschiedliche Fachmodelle miteinander kollidieren oder anderweitig Probleme unter den Fachdisziplinen auftreten. Dabei werden räumliche Überschneidungen von Modellelementen auf Plausibilität überprüft.

**Ähnliche Begriffe:** Kollisionserkennung, Kollisionskontrolle, Clash Detection

## **Koordinationsmodell**

Das Koordinationsmodell entsteht durch eine temporäre Zusammenstellung bestimmter Fachmodelle. Es hat das Ziel, die jeweiligen Fachdisziplinen an einem digitalen Bauwerksmodell auf Plausibilität, Schlüssigkeit und Vollständigkeit zu überprüfen. Es entsteht durch eine temporäre Zusammenstellung bestimmter Fachmodelle.

**Ähnliche Begriffe:** Aggregationsmodell

## **little BIM**

Die little BIM-Methode beschränkt sich auf die Anwendung einer Fachplanung, die auch nur eine Softwarelösung eines Herstellers benutzt. Sie wird auch als Insellösung bezeichnet.

## **Modellelement**

Bei einem Modellelement handelt es sich um einzelne Bauteile in einem Bauwerksmodell wie Wände, Stützen und Fenster. Den Objekten können Eigenschaften wie Materialien, Geschosse und Farben zugewiesen werden.

**Ähnliche Begriffe:** Modellobjekt

## **Modelchecker und Modelviewer**

IFC-Gebäudemodelle können in sogenannten Viewern oder Model Checkern geöffnet und kontrolliert werden.

**Beispiele:** BIMvision, OpenIFCViewer, Solibri, Trimble Connect

## **Model View Definition – MVD**

Damit nur eine Teilmenge der gewünschten Informationen an die Fachplaner gelangt, gibt es sogenannte Model View Definitions (MVD). Diese gefilterten Sichten können aufgabenbezogene Teil- bzw. Untermengen an Daten auf Basis des IFC-Schemas austauschen.

## **Open BIM**

Bei Open BIM werden offene und herstellernerneutrale Schnittstellen verwendet, die eine durchgängige und gemeinschaftliche Planung, Umsetzung und den Betrieb von Gebäuden ermöglichen.



### **Physikalisches Strukturmodell**

Das physikalische Strukturmodell stellt eine dreidimensionale Geometrie und deren Bauteile als Volumenobjekte dar. Sowohl das Architektur- als auch das Fachmodell der Tragwerksplanung wird als physikalisches beziehungsweise geometrisches Strukturmodell abgebildet.

**Ähnliche Begriffe:** Geometrisches Modell, Physikalisches Volumenmodell, 3D-Modell

### **Structural Analysis Format – SAF**

Das SAF-Format ist ein auf die Tragwerksplanung zugeschnittenes Austauschformat zum Austausch von statisch relevanten Daten. Es basiert auf Excel.

### **Structural Analysis View – SAV**

Der Fokus des Structural Analysis Views liegt auf der Darstellung von analytischen Modelldaten. Bauteile wie Wände, Decken und Stützen beziehen sich auf ihre Achsen und werden als Linien- und Flächenelemente idealisiert.

### **Schnittstelle**

Bei einer Schnittstelle handelt es sich um die Funktionalität der Softwareapplikationen Daten mit anderen Programmen auszutauschen.

### **Statik-Software**

Statikprogramme sind für die Berechnung und Bemessung von Bauwerken zuständig. Dabei verwenden die meisten Programme die FE-Methode, um Tragwerke numerisch berechnen zu können.

**Ähnliche Begriffe:** FEM-Software, Berechnungs-Software, Bemessungs-Software

**Beispiele:** RFEM, RSTAB, SCIA Engineer, SOFiSTiK, ETABS

### **Tragwerksmodell**

Das Tragwerksmodell ist das Fachmodell des Tragwerksplaners und enthält alle für die Tragfähigkeit des Bauwerks verantwortlichen tragenden Bauteile.

**Ähnliche Begriffe:** Rohbaumodell

### **4D-, 5D-, 6D-, 7D-BIM**

BIM-Modelle können im Verlauf eines gesamten Gebäudeprozesses um verschiedene Dimensionen neben der 3D-Geometrie erweitert werden. Dabei berücksichtigt 4D die Komponente „Zeit“, 5D „Kosten“, 6D „Facility Management“ und 7D „Nachhaltigkeit“.

# 1 Einführung

## 1.1 Motivation

BIM ist Zukunft. BIM wird die Art und Weise, Gebäude zu planen nachhaltig beeinflussen. BIM ist eine große Herausforderung für alle Projektbeteiligten. Diesen drei Aussagen wird wohl jeder zustimmen, der mit der Arbeitsmethode Building Information Modeling bereits zu tun hatte. Die Digitalisierung in der Bauindustrie ist in vollem Gange und strebt nach immer mehr Innovationen und Trends. Was damals mit der Erfindung des Computers durch den Bauingenieur Konrad Zuse angefangen hatte, entwickelte sich zu vielen Meilensteinen im Bauwesen. Angefangen mit Tusche und Lineal an riesigen Reißbrettern, begann in den 1990er Jahren langsam der Umstieg auf 2D-CAD Programme. Dank der immer leistungsfähigeren Computer wurde die Arbeit des Zeichenbretts, bei der Veränderungen erheblichen Mehraufwand bedeuteten, eins zu eins auf den Computer übertragen. Mittlerweile ist die 2D-Planung in vielen Architektur- und Ingenieurbüros zum Standard geworden. Eine Dimension mehr und es entstehen 3D-Gebäude. Viele sprechen hier schon irrtümlich von einer BIM-basierter Planung. Allerdings ist BIM weder eine 3D-Planung noch eine Software, sondern viel mehr eine Vernetzung aller am Bau beteiligten Planer, die durch eine kommunikative Arbeitsweise ein softwarebasiertes digitales Gebäudemodell erschaffen und anschließend für ihre Fachdisziplinen nutzen.

Die BIM-Methode ist sicherlich der Inbegriff digitaler Errungenschaften im Bauwesen. Die vergangenen Jahre zeigen, dass immer mehr Architekten und Ingenieure darauf zurückgreifen, um ihre Projekte günstiger, schneller und vorausschauender zu realisieren. Allgemein ergeben sich neue Chancen und Möglichkeiten, die Planung von Bauprojekten effizienter zu gestalten. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat 2015 in seinem Stufenplan BIM für öffentliche Bauvorhaben ab dem Jahr 2020 als verbindlich vorgeschrieben. Seit Ende 2020 werden öffentliche Aufträge nur noch an Firmen vergeben, die zumindest in der Planungsphase auf BIM setzen. So ist es nur noch eine Frage der Zeit, bis noch weitere Planer mit BIM starten.

[1] [2]

Auch in der Ausarbeitung von Regelwerken hat sich in Deutschland in der letzten Zeit einiges getan. Hier war ohnehin ein großer Aufholbedarf nötig, denn ohne allgemein gültige Richtlinien wird der öffentliche Zugang zu Projektinformationen erschwert und schränkt den Datenaustausch aufgrund von Haftung und Rechtsunsicherheiten sowie mangelnder Einheitlichkeit stark ein. In Ländern wie England, Finnland oder Norwegen sind dagegen Normen und Richtlinien schon länger für die BIM-Methode etabliert. Erst 2019 wurde die internationale BIM-Norm DIN EN ISO 19650 veröffentlicht. Sie beinhaltet Konzepte und Prinzipien, die wesentliche Grundbegriffe für das Informationsmanagement erläutern. Des Weiteren wird auch die Nutzung von Daten in einer gemeinsamen Bearbeitungsumgebung beschrieben. [3] Allerdings stieß diese Norm von Seiten der Bayerischen Architektenkammer auf Ablehnung, da die typische deutsche Wertschöpfungskette im Bauwesen mit ihren kleinen und mittelständischen Unternehmen nicht berücksichtigt wurde. [4] Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat ebenfalls Richtlinien für die Verwendung von BIM veröffentlicht. In der Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling“ finden sich wertvolle Informationen rund um die Benutzung von BIM. [5] Allgemein bedarf es in Zukunft noch weiterer Arbeit zur Standardisierung von BIM in Deutschland und Europa.

Dass BIM in aller Munde ist, ist auch den Bausoftware-Herstellern zu verdanken, für die mittlerweile goldene Stunden schlagen. Sie betreiben starkes Marketing mit ihren BIM-fähigen Programmen und werben mit den besten Lösungen für eine optimale Planung sowie dem Schlagwort Open BIM. Leider sieht die Realität in der Praxis oftmals anders aus. Offene Austauschformate mögen vielleicht für die meisten Anwendungsfälle halbwegs funktionieren, doch eine eher kleinere Gruppe in der Baubranche wird dabei häufig vernachlässigt, nämlich die der Tragwerksplaner. Sie gelten nicht immer als die Ingenieure, die sofort auf alle neuen Züge aufspringen, oft auch aus gutem Grund. Nicht wenige sehen darin eine Ursache, warum Themen wie die Anwendung der BIM-Methode hier noch nicht der Standard sind. [6]

Eine Studie von 2019 [7] verstärkt diese Tatsache auch. Nur etwa 38 % der Planungsbüros für Tragwerksplanung sind BIM-Anwender. Das ist immer noch wenig, verglichen mit den Zahlen der Büros für Technische Ausrüstung. Hier finden sich die meisten BIM-Anwender (63 %) und BIM-Umsteiger (38 %). Unter anderem sind der schlechte Datenaustausch zwischen Architektur und Tragwerksplanung sowie Probleme in den Programmschnittstellen ein Hindernis für die sinnvolle Verwendung von

BIM seitens der Statiker. Die BIM-basierte Tragwerksplanung hat daher noch ein erhebliches Verbesserungspotential. Gerade als Statik-Softwarehersteller kann hier maßgeblich Einfluss auf eine positive Entwicklung genommen werden, sodass die Anwender in Zukunft eine smarte und benutzerfreundliche Lösung verwenden können.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Open BIM soll die beste Lösung für eine softwareunabhängige Zusammenarbeit zwischen den Fachplanern sein. Das kann für die meisten Anwendungsfälle sogar stimmen, findet jedoch aktuell beim Datenaustausch von Informationen zwischen Architekten und Statikern so gut wie gar nicht statt. Oft scheitert es an mangelhaften Austauschergebnissen, unzureichender Übermittlung von Strukturdaten sowie ständigen manuellen Nachbesserungen nach einem Import mit dem offenen Austauschformat IFC. Auch das Wort Interoperabilität darf an dieser Stelle nicht vergessen werden. Die Fähigkeit, Informationen zwischen unterschiedlichen Programmen richtig zu kommunizieren, ist essenzieller Bestandteil eines einwandfreien Planungsablaufs. Das IFC-Format ist folglich ein guter Ansatz, alle Planer sowie Programme auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen und eine Sprache sprechen zu lassen. Trotzdem wurden bei der ständigen Weiterentwicklung des IFC-Formats, angetrieben von der Organisation buildingSMART, die Aspekte der Tragwerksplanung häufig außer Acht gelassen. So bieten nicht einmal alle Softwarehersteller einen Import bzw. Export des IFC-Formats an, da die Implementierung zu aufwendig ist. Ein neues offenes Format, eigens auf die Tragwerksanalyse zugeschnitten, soll in Zukunft Abhilfe schaffen. Auf Initiative der Nemetschek Group wurde das auf Excel basierte offene Austauschformat SAF (Structural Analysis Format) entwickelt. Es soll die Arbeit für Statiker wesentlich vereinfachen, da es für Statikprogramme besser gelesen und geschrieben werden kann. Somit kann eine bessere Informationsübertragung von nativen Daten sichergestellt werden.

Diese Masterarbeit hat es sich daher zum Ziel gesetzt, beide Schnittstellenformate miteinander zu vergleichen, nachdem es noch einen allgemeinen Einblick in bisherige etablierte BIM-orientierte Abläufe in der Tragwerksplanung gibt. Anschließend wird eine formale Analyse und Gegenüberstellung der Formate IFC und SAF in Bezug auf den Datenaustausch für die modellgestützte baustatische Berechnung durchgeführt. Des Weiteren werden diese Formate an praktischen Beispielen erprobt und als Datenaustauschszenerarien mithilfe einer Process Map dargestellt, um infolgedessen einen Leitfadens für den Einsatz in der Praxis zu erstellen.

### 1.3 Aufbau und Inhalt

**Abschnitt 2** dieser Arbeit befasst sich mit den theoretischen und technologischen Grundlagen der Arbeitsmethode BIM. Eingangs wird BIM allgemein beschrieben, später werden Unterschiede zur herkömmlichen Planung aufgezeigt. Abschließend wird einerseits auf die geometrische Modellierung eingegangen, andererseits werden unterschiedliche Bauwerksmodelle vorgestellt und erklärt.

Die verschiedenen Workflows in der Tragwerksplanung werden in **Abschnitt 3** festgehalten. Zunächst wird vorgestellt, wie Tragwerksplaner bisher mit der BIM-Methode arbeiten und welche Austauschmodelle sich bewährt haben. Von little BIM und Open BIM, bis hin zur parametrischen Tragwerksplanung sowie der Anwendung von direkten Schnittstellen, werden unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten in den Ingenieurbüros aufgezeigt. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit wichtigen Hinweisen und zu berücksichtigenden Effekten, die sich bei einer statischen Berechnung von BIM-Modellen ergeben.

Mit den gängigen Austauschformaten und relevanten Schnittstellen für die Tragwerksplanung beschäftigt sich **Abschnitt 4**. Hier werden anfangs klassische geschlossene Formate wie DXF und DWG erwähnt und später mit einer präzisen Vorstellung von direkten Schnittstellen fortgesetzt. Anschließend folgt der Schwerpunkt mit dem Vergleich der zwei offenen und neutralen Schnittstellenformate IFC und SAF. Dabei werden der Aufbau sowie die Struktur beider Formate genauer untersucht, und anhand eines einfachen Praxisbeispiels, Vor- und Nachteile zusammengefasst.

**Abschnitt 5** beinhaltet praktische Datenaustauschszenarien mittels unterschiedlicher Software-Applikationen. Hier wird mithilfe von zwei CAD-Programmen ein Einfamilienhaus erstellt und in zwei Statik-Programme exportiert. Ferner werden die übertragenen Informationen und Importergebnisse bewertet und darüber hinaus, mögliche Grenzen der Software-Werkzeuge und Schnittstellen aufgezeigt.

Durch die gesammelten Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln wird sich in **Abschnitt 6** der Erstellung eines Leitfadens für die BIM-basierte Tragwerksplanung gewidmet. Dabei orientiert sich der Leitfaden an den typischen Leistungsphasen der HOAI und gibt wertvolle Hilfsanweisungen für die Praxis.

**Abschnitt 7** bildet ein abschließendes Fazit.

## 2 BIM in der Theorie – Grundlagen

### 2.1 Begriffsbestimmung: Was ist BIM?

BIM ist die Abkürzung für Building Information Modeling und bedeutet zu Deutsch so viel wie „Bauwerksdatenmodellierung“. Die Recherchen ergaben, dass die Definitionen von BIM im Grunde ähnlich sind, häufig aber voneinander abweichen und je nach Fachplaner, Hersteller und Betreiber eines Gebäudes unterschiedliche Auffassungen dieses Themas bestehen. Auch diverse Vereine, Organisationen und Normen, die im Verlauf der BIM-Historie entstanden, beschreiben die innovative Planungsmethode stets auf ihre eigene Art und Weise passend für ihr Anwendungsfeld. Deshalb gibt es keine einheitliche Definition von BIM. Oftmals liegt es an den unterschiedlichen Hoffnungen und Erwartungen, die zu verschiedenen Interpretationen führen. [8]

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 die Bezeichnung erst in einem White Paper im Jahr 2003 durch die Softwarefirma Autodesk bekannt. [9] [10]

Allgemein kann festgehalten werden, dass unter Building Information Modeling, kurz BIM, eine Arbeitsmethode im Bauwesen verstanden wird. Ihr Fokus liegt auf der gemeinsamen und zentralen Verwaltung von Bauwerks- und Projektinformationen. Statt der klassischen Zeichnungen in 2D, werden 3D-Objekte modelliert. So werden softwarebasierte digitale Bauwerksmodelle erzeugt, in denen anschließend alle wichtigen Gebäudedaten erfasst, dokumentiert, bearbeitet und gelesen werden können. Dadurch wird die Kommunikation zwischen den Beteiligten offener und transparenter gestaltet. Nicht nur die geometrischen, physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Gebäudes werden beschrieben, überdies wird auch der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerks durch die Nutzung eines digitalen Modells simuliert. 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. Mithilfe mehrdimensionaler BIM-Modelle können neben geometrischen Inhalten auch Komponenten wie Zeit (4D) und Kosten (5D) be-

rücksichtigt werden. Dadurch lassen sich beispielsweise modellbasierte Zeit- und Kostenplanungen erstellen.

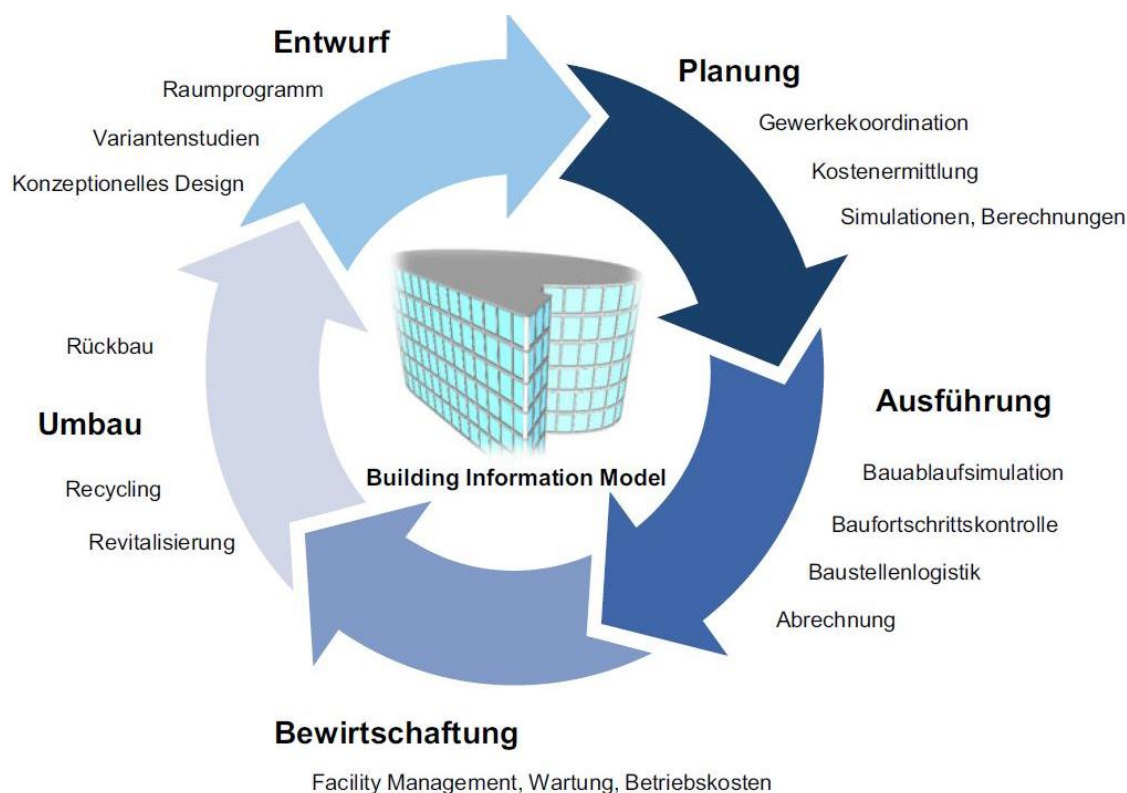


Abb. 2.1 Durchgängige Nutzung eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus [5]

## 2.2 Unterschiede zur herkömmlichen Planung: Was ändert sich?

Einer der Gründe für die langsame Implementierung von BIM in Ingenieur- und Architekturbüros ist häufig das Unwissen darüber, was BIM genau ist und inwieweit die bisherige herkömmliche Planungskultur verändert wird. Experten sind sich sicher, dass die neue Arbeitsmethode alte Prozesse grundlegend wandeln, wenn nicht sogar revolutionieren wird. Jeder Fachplaner, der an einem BIM-basierten Bauprojekt beteiligt ist, sollte die Differenzen zwischen der alten klassischen und der neuen modernen Arbeitsweise kennen. Die folgenden Beispiele dienen der beispielhaften Erläuterung der wesentlichen Unterschiede.

### 2.2.1 Zusammenarbeit: Kommunikation und Daten

Aktuell basiert der Austausch unter den Fachplanern größtenteils auf digitalem Papier und klassischen Kommunikationswegen via Telefon und E-Mail. Baupläne werden als PDF,- DWG- oder DXF-Pläne verschickt und dann bei den Büros wiederum in die notwendige Software eingegeben. Änderungen bei einem Gewerk werden mittels eingegabener roter Wolke auf dem Plan leichthin per E-Mail weitergeleitet, während das



andere Gewerk noch mit der Eingabe des vorherigen Plans beschäftigt ist. So kann es durchaus vorkommen, dass aufgrund mangelnder Kommunikation, Änderungen in der Planung übersehen werden und Fachplaner mit veraltetem Stand arbeiten. Ähnlich dem Spiel „Stille Post“ gehen mit wachsender Projektdauer und den Übergängen von Projektphasen wertvolle Informationen verloren. [10]

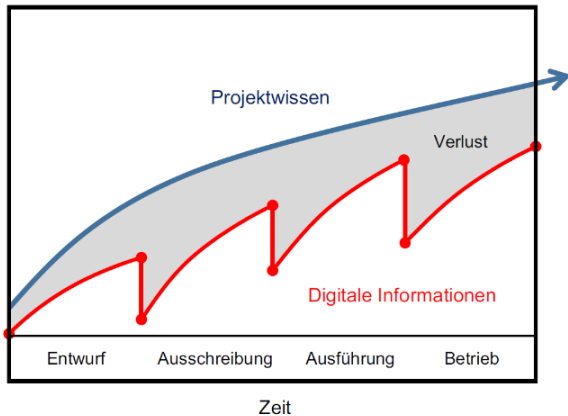


Abb. 2.2 Informationsverluste durch Brüche im Informationsfluss während eines Bauwerkvorhabens [5]

Mithilfe von BIM werden solche Informations- und Datenverluste vermieden. Denn hier wird bereits zu Beginn eines Projektes gemeinsam und fächerübergreifend an einem virtuellen Gebäudemodell gearbeitet, in dem alle Bauwerksdaten zentrisch verwaltet und gepflegt werden.

Dadurch haben alle interdisziplinären Teams einen sowohl aktuellen als auch ständigen Zugriff auf das BIM-Modell und können sich dementsprechend abstimmen. Folglich sind Bauteilinformation einfach, strukturiert und konsistent vorhanden, was wiederum zu geringeren Fehlern und Missverständnissen unter den Gewerken führt. Ein frühes Einbinden von Fachplanern in eine BIM-Planung ist allerdings unerlässlich, um relevante Informationen hinsichtlich Tragwerks- oder TGA-Planung rechtzeitig vermitteln zu können. Nur so kann eine gute Zusammenarbeit gewährleistet werden. [11]

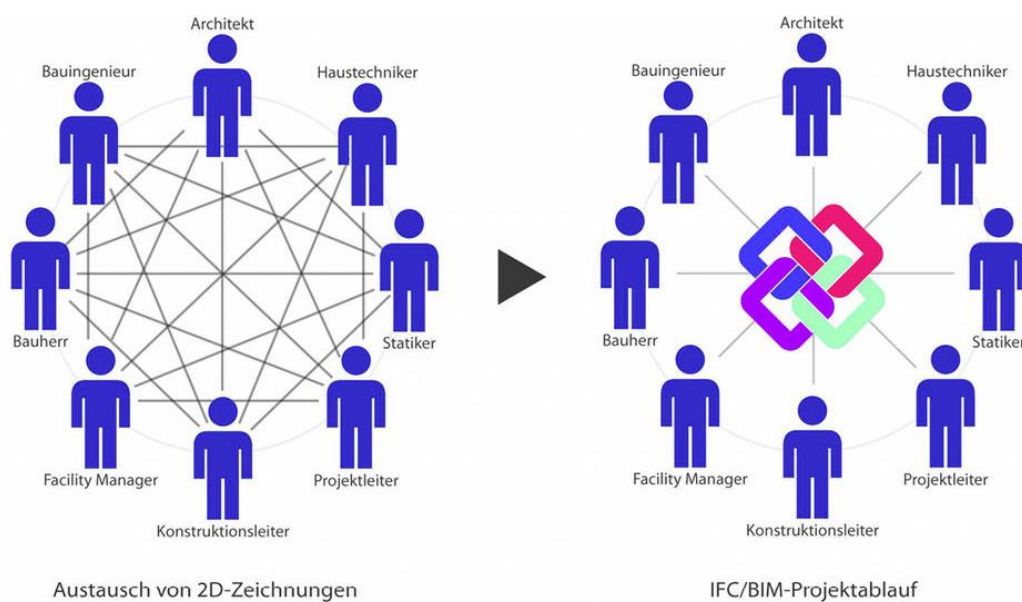


Abb. 2.3 Traditioneller Informationsaustausch vs. BIM-basierten Projektablauf [86]



### 2.2.2 Verwaltung von Projektdokumenten

Bei klassischen Planungsmethoden basiert der Austausch von Gebäudeinformationen auf technischen Zeichnungen in Form von Grundrissen, Schnitten und Detailplänen, die meistens in 2D erstellt und anschließend mit weiteren Projektpartnern geteilt werden. Mehrere separate 2D-Pläne beschreiben dabei ein Gebäude in 3D. Besonders kritisch sind unangenehme Detailpunkte in einem Gebäude, bei denen die Ausbildung und Ausführung noch nicht bekannt ist. Um sich diesen Problemstellen zu entziehen, kann es durchaus vorkommen, dass Schnitte absichtlich ungünstig geführt und wichtige Informationen weggelassen werden. Anfällig sind 2D-Pläne auch bei Planungsänderungen. Hier müssen die Änderungen an den Zeichnungen manuell vorgenommen werden. Der Vorgang des Sicherstellens, dass jede Ansicht auf jeder Zeichnung im ganzen Plansatz auch tatsächlich stimmt, kann sehr komplex und fehleranfällig sein.

Mit BIM dagegen wird zunächst digital geplant und Bauwerksmodelle dreidimensional modelliert. Nachher können aus diesen Modellen Pläne für die weitere Verwendung von Planungspartnern abgeleitet werden. Hierbei können spezifische Objektinformationen wie etwa Materialeigenschaften und statische Relevanz zugeteilt werden. Nebenbei können bei guter Datenpflege des Gebäudemodells Änderungen besser nachverfolgt werden. [11]

### 2.2.3 Durchgängigkeit und Management von Informationen

Obwohl heutzutage schon nahezu jede CAD-Software die Möglichkeit für die Erstellung eines 3D-Gebäudes anbietet, finden sich noch einige veraltete Verhaltensmuster in Architektur- und Ingenieurbüros, die die reine 2D-Planung bevorzugen. Ein großes Problem dieser Pläne ist die schwierige Interpretierbarkeit. Zeichnungen mit Strichen und Linien symbolisieren beispielsweise Wände und Decken, zusätzliche Informationen wie zum Beispiel das Material können nicht entnommen werden und müssen daher textlich hinzugefügt werden. Dadurch ergibt sich ein Informationsverlust, da andere am Projekt beteiligte Partner diese Pläne immer wieder neu interpretieren müssen, sodass es zu Missverständnissen kommen kann und ein erhöhtes Risiko in der Projektabwicklung hervorgerufen wird.

Informationsverluste werden durch die Verwendung von BIM und der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit reduziert. BIM dient als Werkzeug für ein durchgängiges Informationsmanagement. Bauteile verfügen nun über ausreichend Informationen, da

sie objektorientiert erstellt werden. Weiterhin können ihnen Attribute zugewiesen werden, sodass diese Informationen für jeden Nutzer zugänglich sind. Dadurch können Planungsfehler früher erkannt werden. Zusätzlich können sich einzelne Fachplaner dabei mithilfe von Kollisionsprüfungen besser untereinander abstimmen. Außerdem wirkt sich in einem BIM-Projekt auch das Änderungsmanagement positiv aus, da die Informationen zentral verwaltet werden und sich bei Änderungen am Modell automatisch alle Zeichnungen aktualisieren. [11]

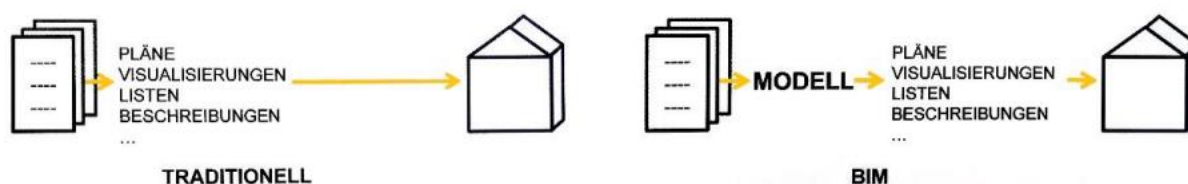


Abb. 2.4 Unterschied der Informationsbasis auf traditionelle und BIM-basierte Arbeitsweise [11]

## 2.2.4 Aufwandsverlagerung

Für die konventionelle Planungsmethode ist es üblich, dass der größte Planungsaufwand in den späteren Phasen wie etwa der Genehmigung und der Ausführung entsteht. Dadurch können Aufgaben hinsichtlich weiterer Fachplanungen erst zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt getätigt werden. Allerdings sind dann Entwurfsänderungen nur noch begrenzt möglich, sodass es zu zusätzlichen Kosten und Projektverzögerungen kommt. In der Bauindustrie ist die traditionelle Planungsmethode außerdem von vielen Medienbrüchen geprägt, wie zum Beispiel der Neueingabe von Informationen zur Weiterverwendung an andere Fachplaner.

In einem BIM-basierten Prozess wird dagegen ein besonderer Fokus auf das Entwurfsstadium gelegt. Hier müssen anfangs die notwendigen Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit entwickelt und festgelegt werden. Eine enge Koordination unter den Fachplanern ist wichtig, um in den frühen Phasen des Projekts mehr Bauwerksinformationen zu hinterlegen. Dies geschieht durch die Erstellung eines umfassenden digitalen Gebäudemodells, sodass der Aufwand zu Planungsbeginn zwar zunimmt, spätere Änderungswünsche aber leichter eingebaut und umgesetzt werden können. Ein frühzeitiges Erkennen und Anpassen von problematischen Stellen wird somit vereinfacht, was schließlich auch zur Kostenreduzierung beiträgt. [10] [12]

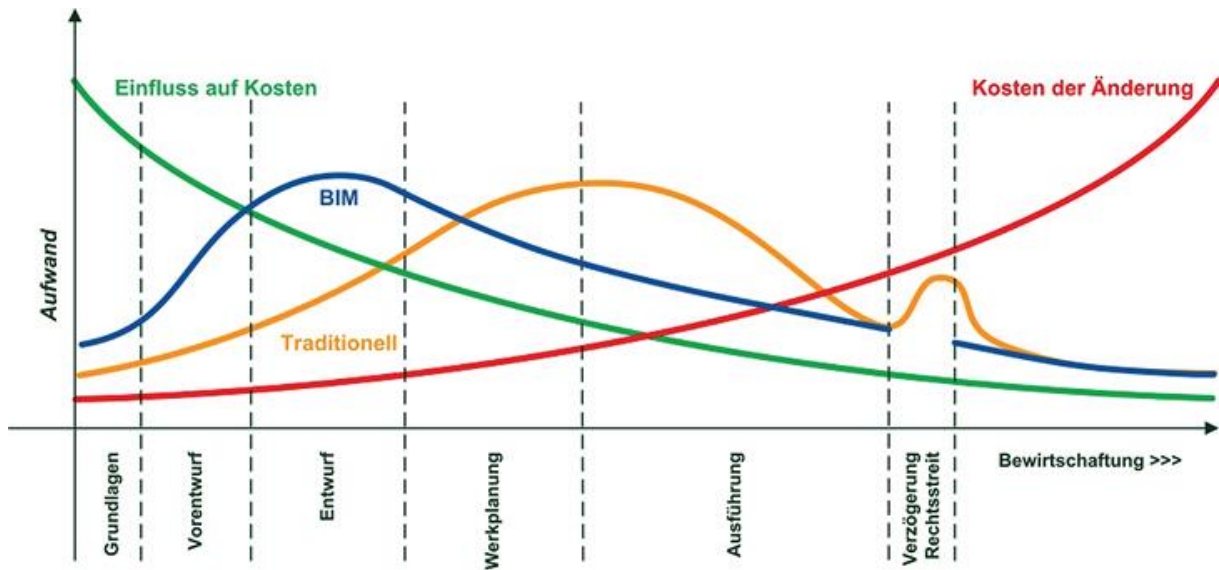


Abb. 2.5 Aufwandsverlagerung und Einfluss auf Kostenentwicklung [12]

### 2.2.5 CAD vs. BIM

CAD ist ein computergestütztes Zeichenwerkzeug und verwendet Linien, um Gebäude zumeist als zweidimensionale Pläne zu repräsentieren. Nachteilig ist hierbei, dass dies manchmal zu inkonsistenten Informationen, und aufgrund der unterschiedlichen Auffassung von Linien und Zeichnungen zu Datenfehlinterpretationen führt. Manuelle Aktualisierungen und aufwendige Korrekturen kosten dementsprechend viel Zeit. Zudem können wegen der Limitierung einer einfachen CAD-Zeichnung keine Analysen und Simulationen wie Mengenermittlungen durchgeführt werden. Eigenschaften wie Betonsorte, Materialien und andere Parameter sind in der 2D-Umgebung nicht enthalten, was folglich dazu führt, dass den BIM-Objekten eine besondere Bedeutung zukommt. Neben dem Übergang von 2D- zu 3D-Objekten liefern BIM-basierte Planungen zusätzliche Daten und Eigenschaften über alle enthaltenen Bauteile. So besteht eine Stahlbetonwand nicht mehr aus vier Linien im Grundriss, sondern wird als geometrischer 3D-Körper mit semantischen Daten wie Betongüte, Geschosszuordnung und Eigenschaften wie statisch-tragend beschrieben. [14]

CAD ist daher alleine betrachtet kein BIM und BIM ist keine Software. Allerdings werden anhand von CAD-Programmen BIM-Modelle erzeugt. Bedingung der CAD-Programme ist hierbei, dass 3D-Modelle mit zusätzlichen Bauwerksinformationen wie Geschossen, der Raumnutzung, dem Material, der Bauteilart, usw. hinterlegt werden können. So wird in jedem BIM-basierten Projekt nicht mehr gezeichnet, sondern modelliert. [14]

## 2.3 Bauwerksmodelle

Eine BIM-basierte Zusammenarbeit kann nur mit digitalen Bauwerksmodellen erfolgen. Sie bilden die Grundlage für einen effektiven Austausch von Bauwerksinformationen und werden mithilfe von BIM-fähiger Software erstellt. Diese Modelle werden dabei von den jeweiligen Fachplanern erstellt. Fachspezifische Bauwerksmodelle werden auch Fach- oder Teilmodelle genannt, die je nach Fachplanung unterschiedliche Inhalte bezüglich ihrer Anwendungsfelder enthalten. Ein vielfacher Irrglaube, der bei vielen BIM-Einsteigern besteht, ist die Tatsache, dass ein gemeinsames Bauwerksmodell, an dem alle Projektbeteiligten gleichzeitig arbeiten, in der Realität nicht existiert. Vielmehr wird in den verschiedenen Fachmodellen separat gearbeitet, die dann später zu einem Koordinationsmodell zusammengeführt werden. [13]

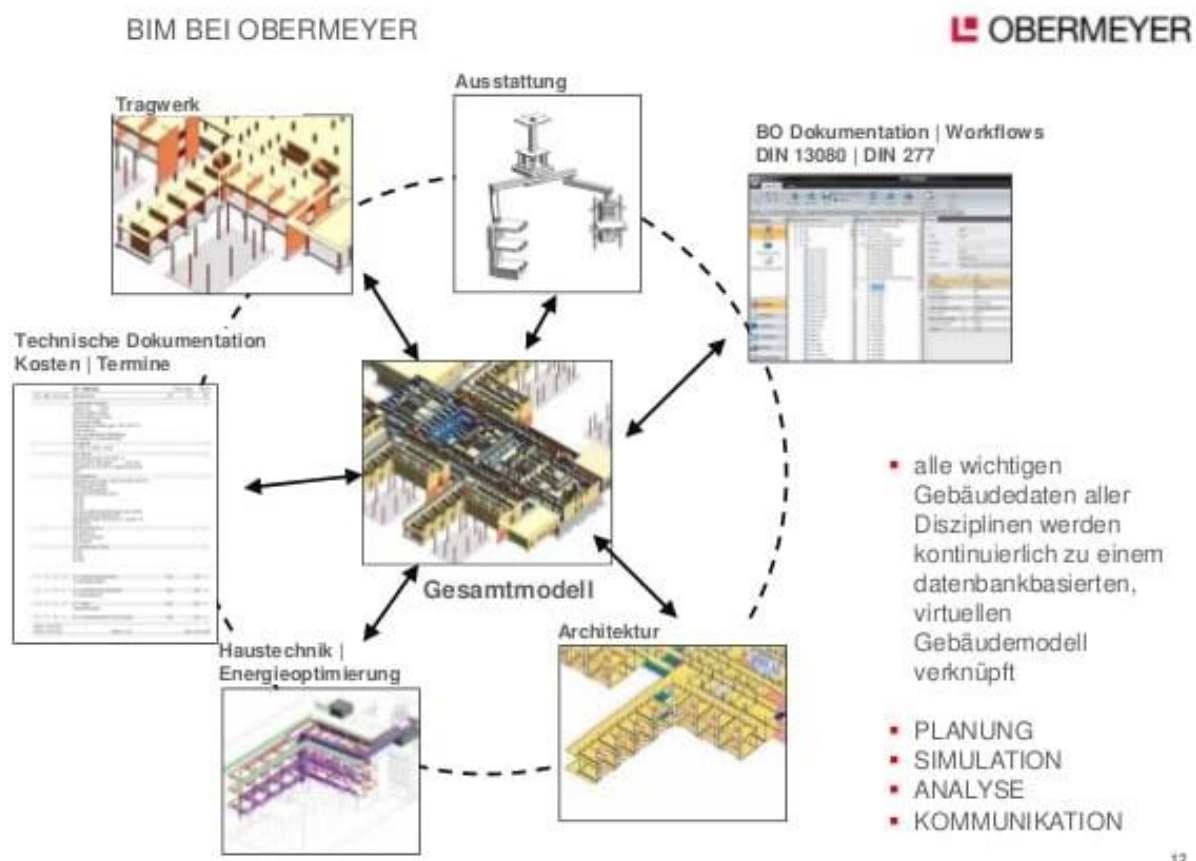


Abb. 2.6 Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell [11]

### 2.3.1 Gesamtmodell

Ein häufiges Missverständnis im Zusammenhang mit digitalen Modellen ist das eine gemeinsame Bauwerksmodell, an dem alle Projektbeteiligten gleichzeitig arbeiten. Dies gibt es in der Praxis jedoch nicht. Viel mehr wird hier von einem Bauwerksmodell gesprochen, dessen gemeinsam genutzte Daten im Mittelpunkt stehen. Folglich setzt

sich das vermeintliche Gesamtmodell eben aus mehreren Fachmodellen zusammen. Dort werden anschließend alle relevanten Daten und Informationen des Bauwerks aller beteiligten Gewerke gespeichert.

### 2.3.2 Fachmodell

Das Fachmodell beschreibt das 3D-Modell eines Fachplaners und bildet somit die jeweilige Fachdisziplin bzw. das Gewerk ab. Im Allgemeinen besteht es aus Bauelementen oder technischen Komponenten, die für dieses Gewerk relevant sind. So finden sich im Fachmodell des Tragwerksplaners vorwiegend Tragelemente wie Stützen und Decken, während im Fachmodell der TGA die Lage der Lüftungsschächte eine Rolle spielt. Das Architekturmodell dient dabei als Grundlage für die Erstellung der Fachmodelle. Im Verlauf der Projektphase werden die Fachmodelle immer wieder mit neuen Informationen gefüllt und bearbeitet. Wenn mehrere Fachmodelle zu einem großen Modell zusammengeführt werden, wird auch von einem zentralen Koordinationsmodell gesprochen. [12] [13]

Im Weiteren werden die drei wichtigsten Fachmodelle vorgestellt.

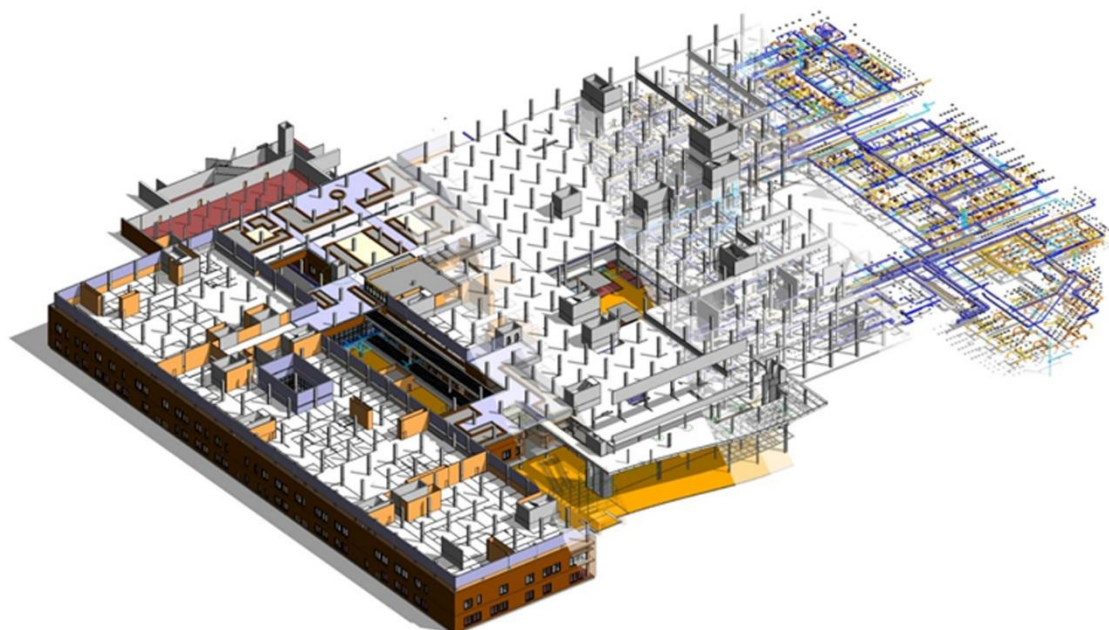


Abb. 2.7 *Al Ain Hospital. Nacheinander aufgereihte Fachmodelle der Gewerke Architektur, Tragwerk, TGA (v. l. n. r.) ergeben ein Gesamtmodell [11]*

#### 2.3.2.1 Architekturmodell

Objektplaner und Architekten sind für die Erstellung des Architekturmodells verantwortlich. Es dient als digitales Abbild des geplanten Bauwerks aus architektonischer



Sicht. In der Regel entsteht dies zu Projektanfang und wird häufig als Referenzmodell für weitere Fachmodelle verwendet. So können schon frühzeitig Konzeptüberlegungen mit anderen Planern abgestimmt und berücksichtigt werden. Demzufolge ist das Architekturmodell das wichtigste Modell im gesamten BIM-Planungsprozess. [12] [13]

Das Architekturmodell kann zu jedem Zeitpunkt als Grundlage für Visualisierungen, Simulationen, Flächenauswertungen, Energieanalysen oder Mengenermittlungen herangezogen werden. Außerdem lassen sich dank der räumlichen Darstellung komplexe Entwürfe besser darstellen, was Entscheidungsprozesse beschleunigt und ein einfacheres Entwurfsverständnis aller Projektbeteiligten fördert. [12]

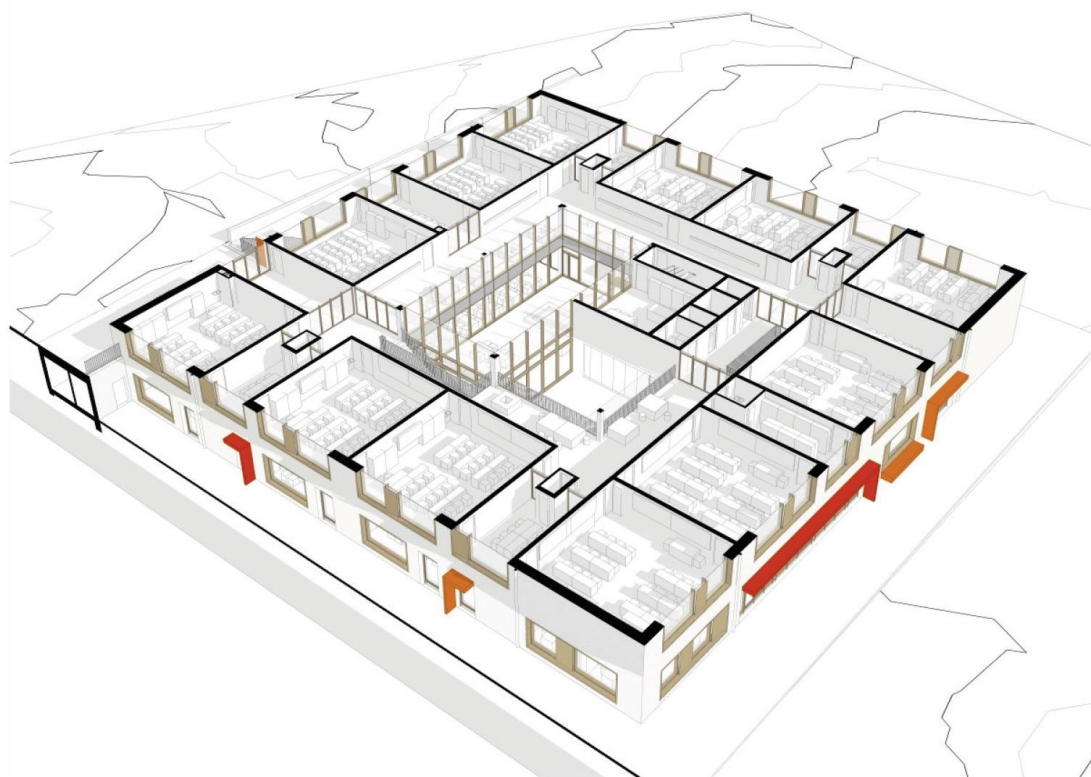


Abb. 2.8 Architekturmodell: Haus des Lernens in Essen [12]

### 2.3.2.2 Tragwerksmodell

Das Tragwerksmodell enthält alle für die Tragfähigkeit des Bauwerks verantwortlichen tragenden Bauteile. Es wird aus dem Architekturmodell abgeleitet und bildet die Grundlage für die Erstellung eines Tragwerksmodells. Dieses wird später wieder in ein Statikmodell überführt, worin statische Berechnungen und Nachweise auf Basis eines vollständigen dreidimensionalen Analysemodells durchgeführt werden. In Kapitel 3.1 wird auf die zu verwendeten Modelle der Tragwerksanalyse genauer eingegangen. [12] [13]

Weiterhin werden auch alle relevanten Tragelemente mit Informationen zu Material, Abmessungen, Feuerwiderstandsklasse und Dauerhaftigkeit angegeben. So dient das Tragwerksmodell vorwiegend der 3D-Koordination der anderen Fachmodelle und kann mittels IFC-Daten ausgetauscht werden. Es ist daher auch nicht mit dem Statikmodell zu verwechseln, das nur eine idealisierte Abstraktion des Tragwerksmodells darstellt. [12] [13]

Das Tragwerksmodell dient unter anderem auch als Grundlage zur Erstellung von Schal- und Positionsplänen und kann auch zur Ermittlung von Massen und Mengen benutzt werden. Mithilfe eines Tragwerksmodells lassen sich ebenfalls dreidimensionale Bewehrungsmodelle erstellen, aus denen später automatisch 2D-Bewehrungspläne abgeleitet werden können. [12] [13]

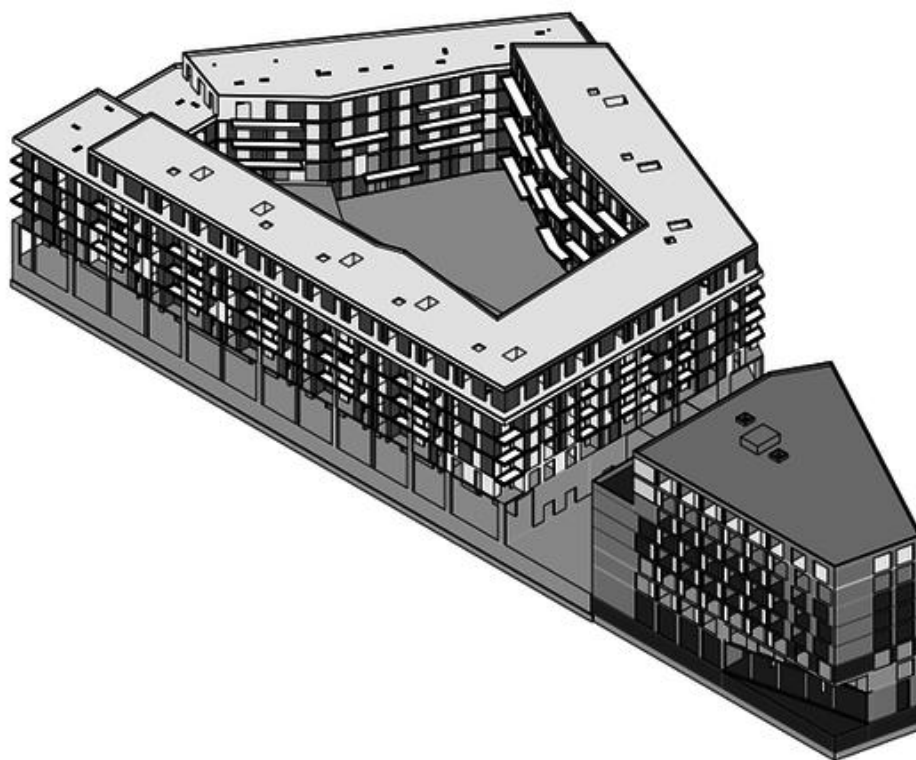


Abb. 2.9 Tragwerksmodell [87]

### 2.3.2.3 TGA-Modell

Das TGA-Modell beinhaltet gleich mehrere Modelle der einzelnen Fachgewerke aus der Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärplanung sowie Elektro- und Fernmeldetechnik. Die darin vorkommenden Informationen dienen der Haustechnik und werden mithilfe des abgeleiteten Raummodells sowie Angaben zur Gebäudehülle und Raumfunktionen erstellt. Ferner ist es für die Koordination von Durchbrüchen erforderlich, dass eine Kollisionsprüfung mit dem Architektur- und Tragwerksmodell durchgeführt wird.

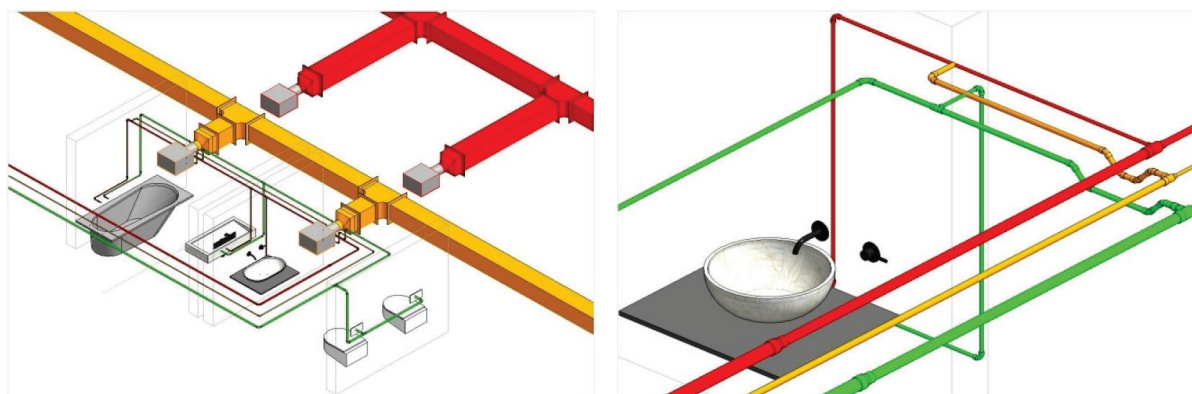


Abb. 2.10 TGA-Modelle: Lüftungs- und Sanitärplanung [12]

### 2.3.3 Koordinationsmodell

In einem Koordinationsmodell werden Teilmodelle nach der Erstellung der Fachmodelle durch die jeweiligen Fachplaner temporär zusammengefügt, um sie untereinander abzugleichen. Die Analyse und Erstellung des Koordinationsmodells geschieht häufig mithilfe von BIM-Viewern oder Model Checkern.

Das Koordinationsmodell hilft den Planenden der einzelnen Fachdisziplinen ihre Modelle auf Plausibilität, Konsistenz, Durchgängigkeit und Vollständigkeit zu überprüfen. Neben der Erfassung des Planungs- und Bauablaufs dient es auch der Projektkoordination und bietet allen am Bau Beteiligten einen vollständigen Überblick über das Bauvorhaben. Darüber hinaus können anhand einer Kollisionserkennung am Koordinationsmodell interdisziplinäre Fehler frühzeitig entdeckt und korrigiert werden. [12]

## 2.4 Zwischenfazit

Building Information Modeling ist eine zukunftsweisende Arbeitsmethode für die Planung von Bauwerken. Dabei setzen alle Projektbeteiligten auf digitale Bauwerksmodelle, die mittels BIM-fähiger Software erstellt werden. Neben einem durchgängigen Informationsmanagement und der digitalen Verwaltung von Projektdokumenten wird vor allem die interdisziplinäre Kollaboration der Planer als essenziell empfunden. Die engere Zusammenarbeit erfordert ein hohes Maß an Kommunikationsbereitschaft, führt aber gleichzeitig zu erheblichen Kosten- und Zeitersparnissen.



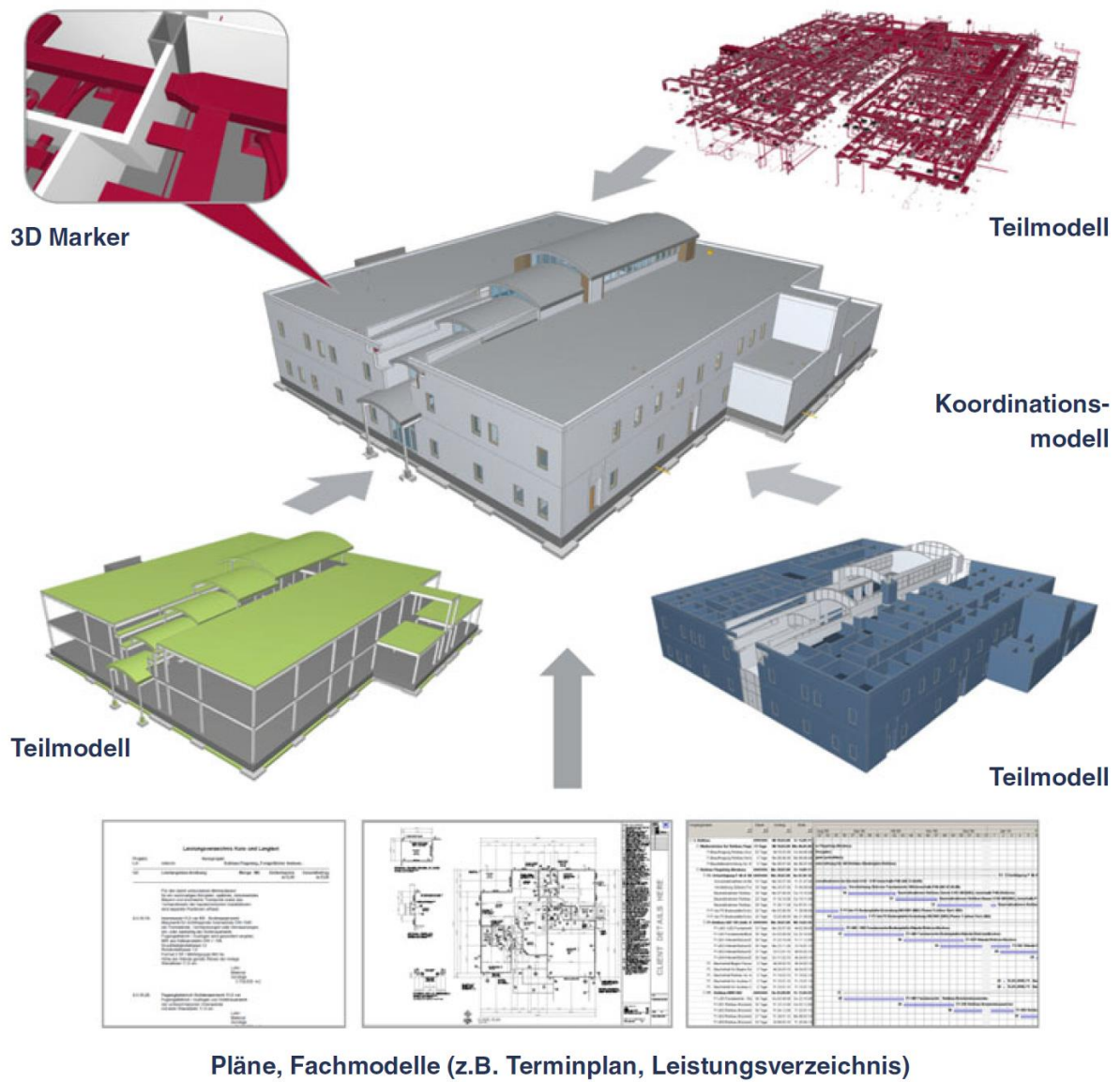


Abb. 2.11 Bildung eines Koordinationsmodells [10]

### 3 BIM in der Tragwerksplanung

Die Tragwerksplanung ist für die statische Berechnung von Baukonstruktionen im Hinblick auf die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sowie der Wirtschaftlichkeit von Gebäuden verantwortlich. Die BIM-basierte Arbeitsweise eröffnet auch für die Tragwerksplanung neue Wege, ihre Tragwerke digital zu planen und aus einem kollaborativen Zusammenspiel aller Projektbeteiligten zu profitieren. Ein bereits von Architekten erstelltes dreidimensionales Gebäudemodell kann für statische Berechnungen weiterverwendet werden. Dies ist sicherlich ein Mehrwert, doch sollten auch die Randbedingungen in einem BIM-Prozess aus Sicht des Tragwerksplaners genauestens bekannt sein. Schließlich modelliert ein Baustatiker seine statischen Systeme immer noch anders als der Architekt bei der Erstellung eines BIM-Modells. Die wesentlichen Aufgaben in der Tragwerksplanung ändern sich bei einem BIM-Prozess aber nicht wesentlich. Die Ingenieure sind nach wie vor für die Gewährleistung der Standsicherheit verantwortlich und daher bleiben auch die statischen Nachweise gleich, lediglich das Werkzeug, das Umfeld der Planer und die Vorgehensweise ändern sich.

Dieses Kapitel gibt einen Einblick in die Planungsmethoden von Tragwerksplanern und Statikern und zeigt deren Abläufe sowie Austauschmodelle unter den Fachplanern. Außerdem wird auf wichtige Effekte in einer BIM-orientierten Berechnung von Statikmodellen eingegangen und mit Hinweisen und Tipps anschaulich dargestellt.

#### 3.1 Modelle in der Tragwerksplanung

Insgesamt beschäftigen sich Tragwerksplaner in ihrer Arbeit mit drei unterschiedlichen Hauptmodellen. Auf der einen Seite gibt es das klassische **Fachmodell der Tragwerksplanung**, das auch als **physikalisches Strukturmodell** fungiert. Auf der anderen Seite besteht mittlerweile in vielen CAD-Applikationen auch die Möglichkeit, **idealisierte Analysemodelle** automatisch bei der Modellbildung eines Gebäudes zu erstellen. Dieses kann dann weiter an die Statikprogramme übergeben werden, wobei die Anwender mit **FEM- und Berechnungsmodellen** ihre statischen Berechnungen und Bemessungen durchführen. Letzteres kann noch in weitere Untermodelle wie das Bemessungs-, Bewehrungs- und Schalungsmodell unterteilt werden.

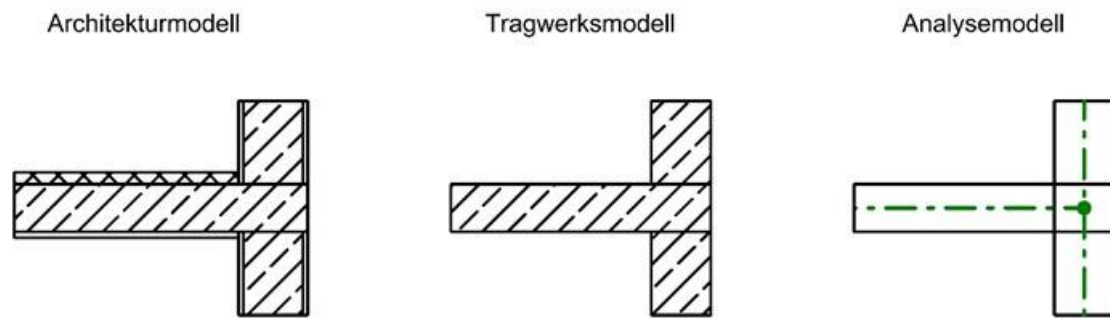


Abb. 3.1 Reduzierung des Architekturmodells zu einem Tragwerks- und Analysemodell [84]

### 3.1.1 Physikalisches Strukturmodell

Sowohl das Architektur- als auch das Fachmodell der Tragwerksplanung wird als physikalisches beziehungsweise geometrisches Strukturmodell abgebildet. Durch die dreidimensionale Geometrie wird hier jedes Bauteil als Volumenobjekt dargestellt. So ist eine Stahlbetondecke mit ihren Geometrieabmessungen hinsichtlich der Länge, Breite und Dicke ein dreidimensionaler Körper, der durch die Schalung seine geometrische Form erhält.

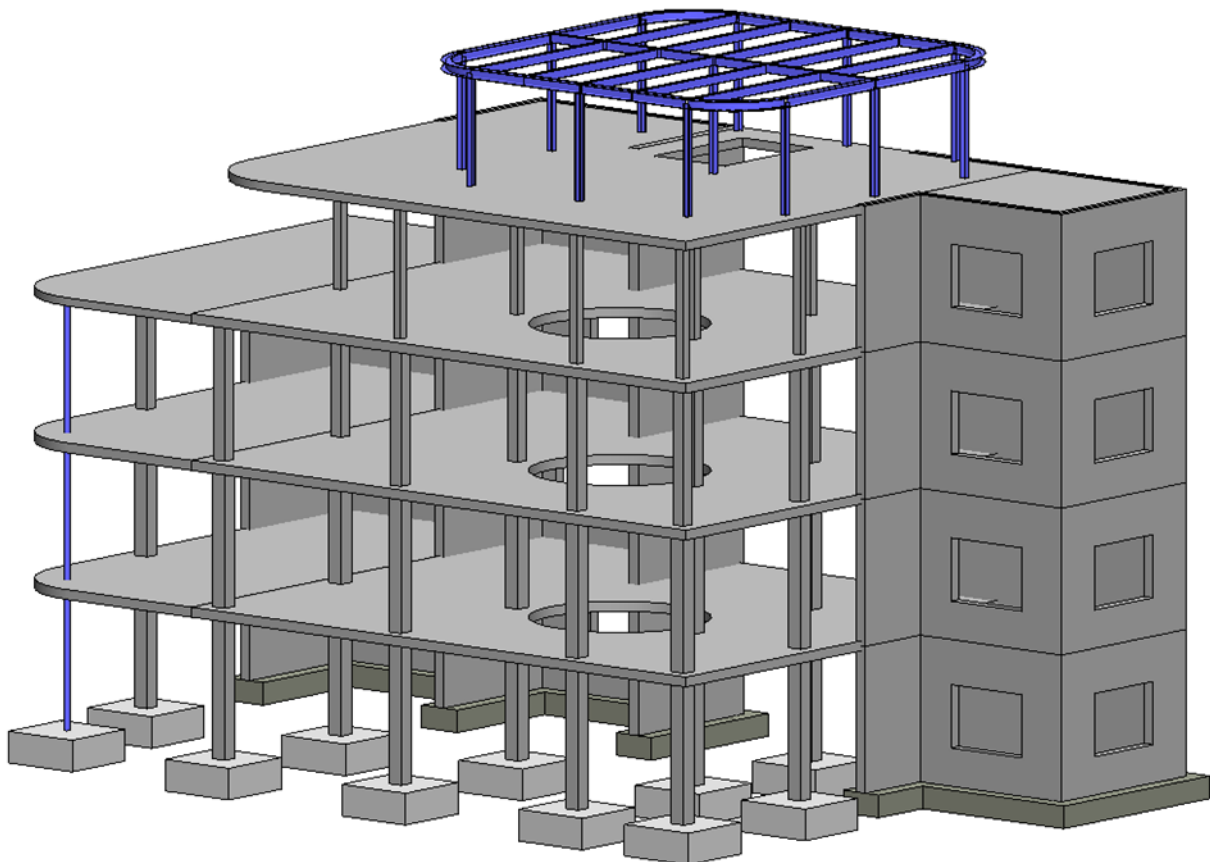


Abb. 3.2 Physikalisches Strukturmodell als Tragwerksmodell in Revit [84]

In einem Tragwerks- bzw. Rohbaumodell werden alle statisch relevanten Bauteile angezeigt, die bei nahezu allen BIM-Applikationen auch mit zusätzlichen Informationen versehen werden können. Dies können beispielsweise die Beschreibung einer Stütze mit Querschnitt, Material, Typ, Feuerwiderstandsdauer und weiteren Eigenschaften sein. [10]

Derzeit können fast alle 3D-CAD-Programme ein geometrisches Strukturmodell generieren. Der Schwerpunkt dieser Modelle liegt daher mehr auf der architektonischen Seite und einer möglichst realitätsnahen Abbildung eines Gebäudes. So lassen sich mithilfe eines Strukturmodells einfache Kollisionsprüfungen und schnelle Massen- und Kostenabschätzungen durchführen. Außerdem sind damit auch Visualisierungen und Bauablaufsimulationen möglich.

### 3.1.2 Statisches Analysemodell

Die Hauptaufgabe des Analysemodells ist die vereinfachte Abbildung statischer Objekte. Es repräsentiert ein geometrisch idealisiertes und dimensionsreduziertes Modell des Bauteils, das für statische Berechnungen verwendet werden kann. Obwohl das analytische Statikmodell eng mit dem physikalischen Strukturmodell über gemeinsame Datenbanken verbunden ist, eignen sich Volumenmodelle nicht sonderlich für die Berechnung von Tragwerken in den Statikprogrammen. Daher wird die Tragstruktur in Systemlinien abgebildet und aus 3D-Objekten werden 2D- oder 1D-Elemente, die für ein Berechnungsprogramm besser genutzt werden können. So ist eine Stütze ein 1D-Stab und wird als Linie dargestellt. Eine Decke hingegen wird als 2D-Platte berechnet und als Fläche idealisiert. [10]

Die mechanische Modellvereinfachung des Analysemodells ermöglicht es den Ingenieuren die Berechnung von Schnittgrößen, Auflagerkräften, Verformungen, und Spannungen in den Statikprogrammen vorzunehmen. Die Ergebnisse werden für die Bemessung und die Durchführung von statischen Nachweisen benutzt.

Häufig führen CAD-Programme bereits ein analytisches Modell mit, sobald Bauteile als statisch relevant eingestuft werden. Durch das vom Volumenmodell abgeleitete Analysemodell können Tragsysteme direkt in die Statikprogramme importiert werden und bilden die Grundlage zur Erstellung der FEM-Berechnungsmodelle. Eine erhebliche Zeit- und Aufwandsersparnis ist die Folge, da das Tragwerk im Statikprogramm nicht noch einmal eingegeben werden muss. Allerdings müssen statische Schwerach-

sen der Bauteile richtig festgelegt werden genauso wie die Verbindungen und Anschlüsse der Bauteile zueinander. Außerdem sollten Querschnitts- und Materialinformationen klar und deutlich zugeordnet werden. Gerade dem Tragwerksplaner wird hier eine große Bedeutung zugeschrieben, wie solche Fragen beantwortet werden können. Bei einer „sauberen“ Arbeit kann der Import in die Statikprogramme wesentlich effektiver vonstattengehen. [15]

Der Erfolg eines effizienten und verlustfreien Datenaustausches von CAD- zu Statik-Software hängt wesentlich von der Qualität des Analysemodells ab. Ein großes Kunststück ist hierbei die Gewährleistung der Interoperabilität zwischen diesen unterschiedlichen Programmen. Besonders das Umwandeln eines Volumenmodells in ein Analysemodell ist eine Herausforderung, nicht nur für den Tragwerksplaner, sondern auch für die Softwarehersteller. Aus diesem Grund wird in Kapitel 4 näher auf diese Thematik eingegangen.

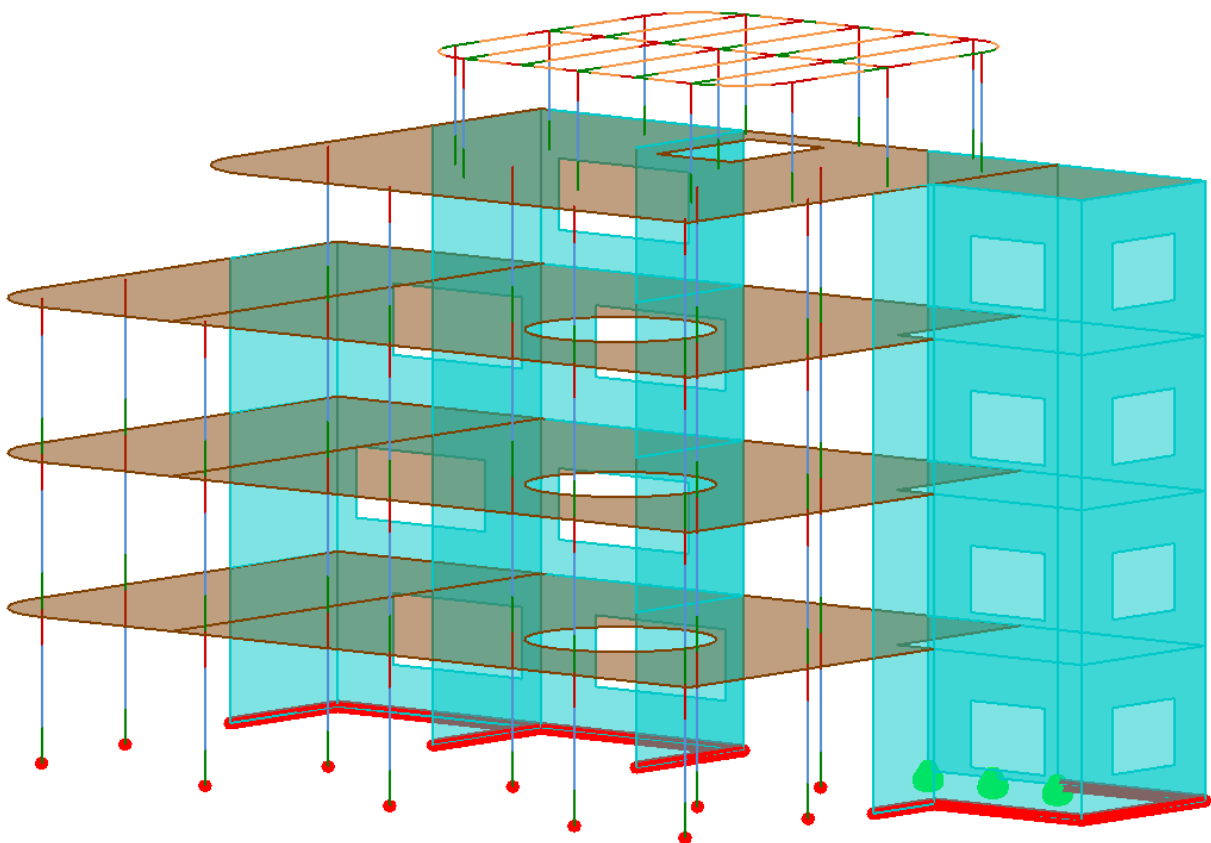


Abb. 3.3 *Idealisiertes Analysemodell in Revit [84]*

### 3.1.3 FEM- und Berechnungsmodell

Gerade für immer komplexere Tragwerke ist die Finite Elemente Methode schon seit Längerem aus der täglichen Arbeit eines Ingenieurs nicht mehr wegzudenken. Die 3D-FEM-Statikprogramme sind zu einem nahezu unverzichtbaren Werkzeug für Statiker geworden. FEM-Modelle und damit sind auch Berechnungsmodelle gemeint werden in Statikprogrammen genutzt und können aus dem BIM-Modell als Analysemodell abgeleitet und exportiert werden. Alternativ werden die FEM-Modelle mithilfe von Plänen auch selbstständig vom Anwender erzeugt.

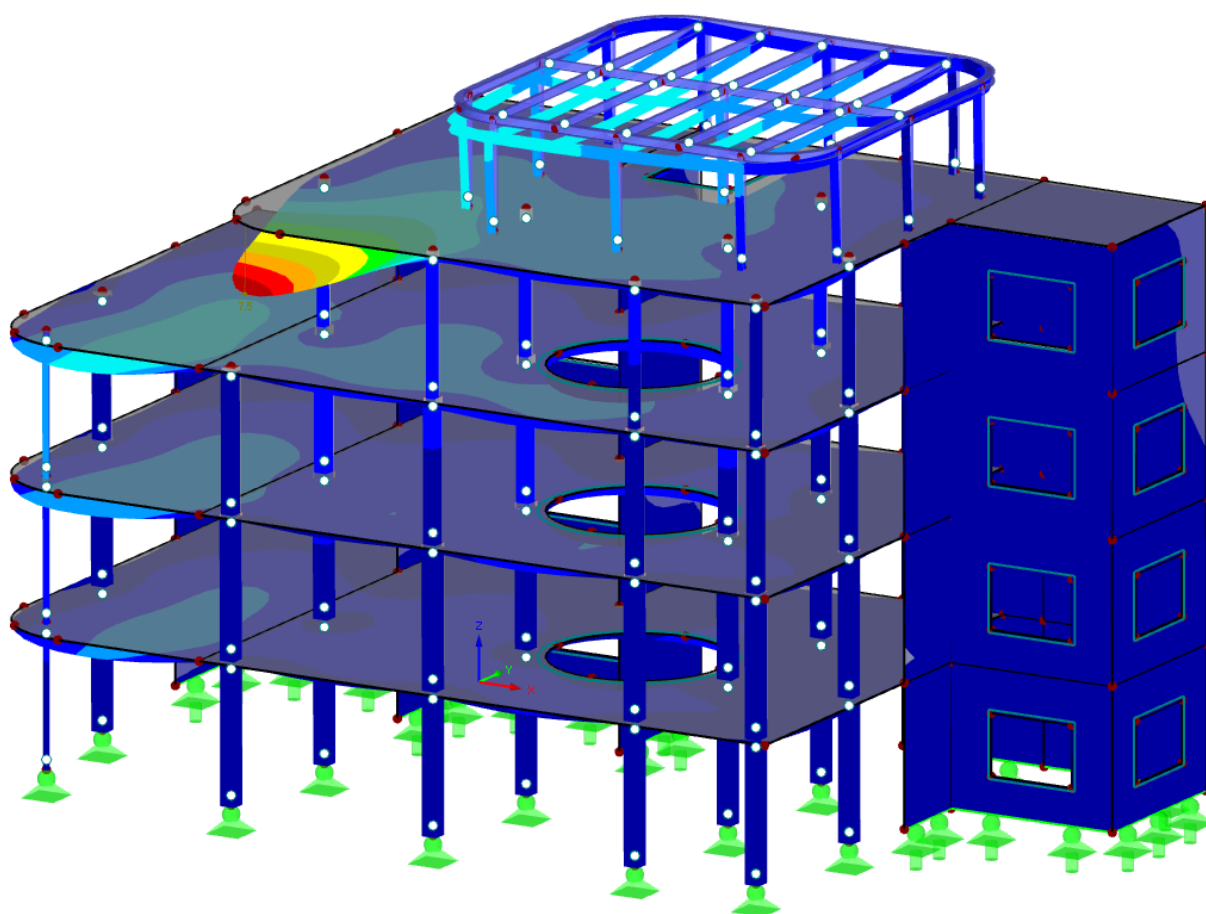


Abb. 3.4 FE-Berechnungsmodell in RFEM [84]

Das Ziel eines FEM-Modells und der FE-Methode ist die numerische Annäherung, Abbildung und Berechnung eines realen Tragwerks. Nahezu alle FE-Computerprogramme basieren auf der Deformationsmethode beziehungsweise dem Verschiebungs- oder Weggrößenverfahren. Hier werden die unbekanntenen Verschiebungen und Verdrehungen ermittelt. Bei einer FEM-Berechnung wird das Tragwerk in endliche Finite Elemente durch Generierung eines Elementnetzes eingeteilt, an dessen Knotenpunkten die mechanischen Eigenschaften des Einzelements beschrieben werden.



Anschließend findet unter Berücksichtigung aller auftretenden Randbedingungen wie zum Beispiel dem Einbau von Lagerbedingungen eine Zusammensetzung der einzelnen Elemente zu einer Gesamtstruktur statt. Abschließend werden zuerst die Verformungen und danach die Schnittgrößen berechnet. [17]

Bei der Anwendung solcher Berechnungsmodelle muss der Anwender über ausreichende Kenntnisse in der Statik verfügen. Oft werden unerfahrene Ingenieure dazu verleitet nur noch mit Rechenprogrammen zu arbeiten, ohne die Ergebnisse kritisch zu hinterfragen. Eine regelmäßige Prüfung und Nachrechnung von Ergebnissen sowie stichprobenartige Plausibilitätskontrollen sind an dieser Stelle zu empfehlen. Kapitel 3.4 wird sich damit noch weiter auseinandersetzen.

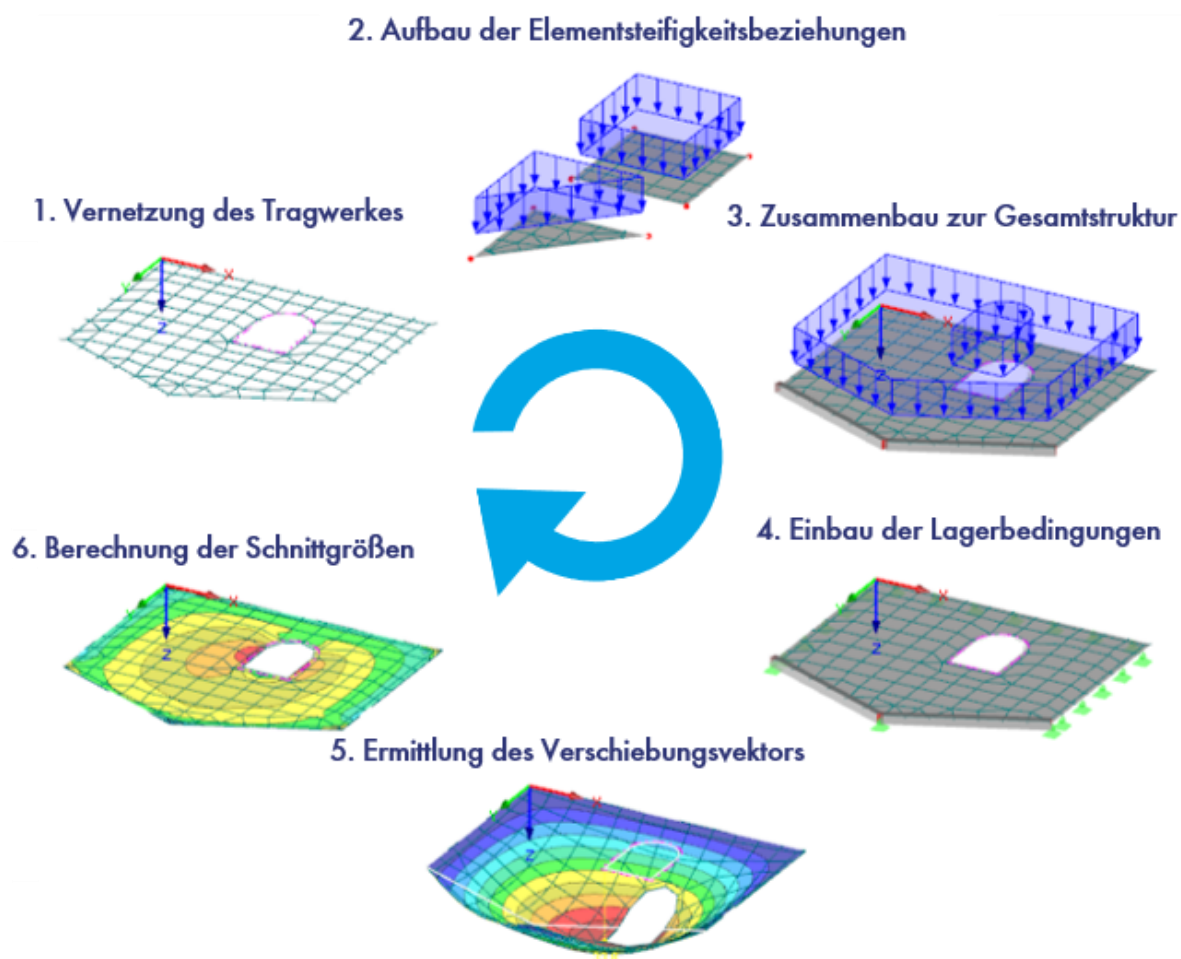


Abb. 3.5 Schematischer Ablauf einer FEM-Berechnung [17]

Während das Berechnungsmodell vorwiegend zur Berechnung von Schnittgrößen, Verformungen, Spannungen, Dehnungen und Auflagerkräften benutzt wird, wird die Bemessung der Tragelemente meistens in den gleichen Statikprogrammen und deren

Zusatzmodulen vollzogen. Alternativ werden die Ergebnisse an andere Bemessungsprogramme weitergeleitet, um beispielsweise Befestigungen in den jeweiligen Herstellerprogrammen nachzuweisen. Ein **Bemessungsmodell** gibt es in diesem Sinne nicht, viel mehr entstehen zum Beispiel im Stahlbetonbau Bewehrungsmodelle, die im Rahmen der Standsicherheit berechnet werden.

Das **Bewehrungsmodell** enthält eine 3D-Visualisierung der eingelegten Bewehrung sowie die Lage und Anzahl der Bewehrungselemente wie Matten, Stäbe oder Bügel. Ebenfalls enthalten sind Angaben zur Betongüte. Durch das Bewehrungsmodell lassen sich Bewehrungspläne als 2D-Ausführungspläne für die Baustelle effektiv ableiten und ermitteln neben der Stahl-, und Betonstahlmenge auch die Stahllisten. Somit dient es gleichzeitig zur Erstellung von Ausschreibungs- und Abrechnungsunterlagen.

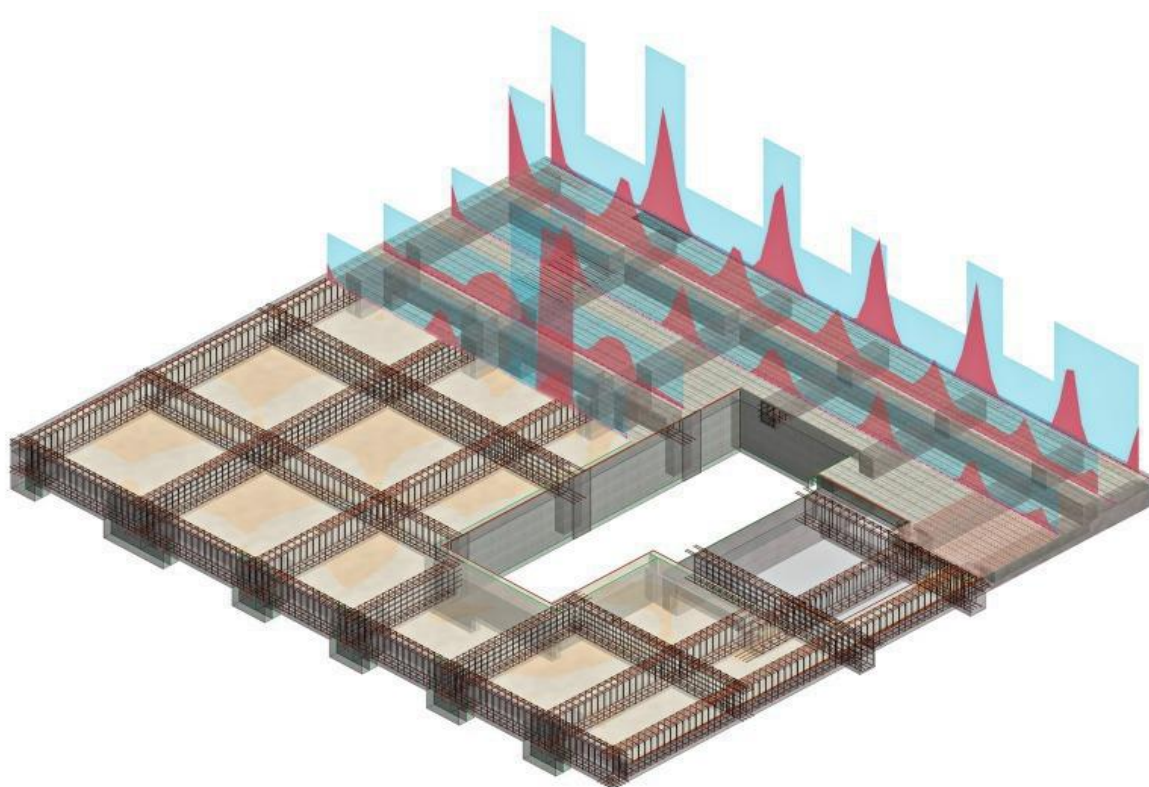


Abb. 3.6 Bewehrungsmodell im Statikprogramm SOFiSTiK [88]

Für das Betonieren werden Schalpläne gebraucht, die sich mit einem **Schalungsmodell** erzeugen lassen können. Das Schalmodell baut auf dem Architekturmodell auf und kann für die Mengenermittlung und Kostenschätzung verwendet werden. Es lassen sich damit auch modellbasierte Massenauszüge ausgeben.



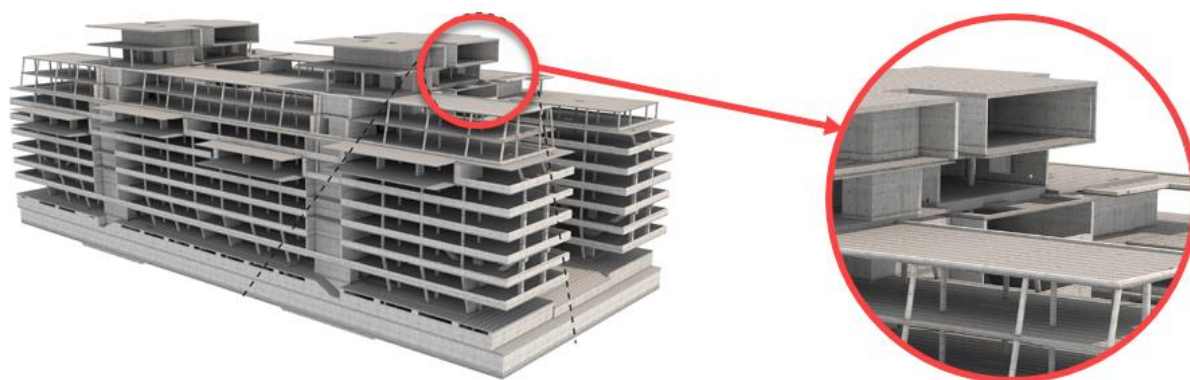


Abb. 3.7 Schalungsmodell eines Stahlbetongebäudes [13]

## 3.2 Planungsablauf in der statischen Berechnung von Bauwerken

In Deutschland herrscht eine sehr heterogene Landschaft aus vielen unabhängigen Planern. Freie, größtenteils kleine bis mittelgroße Ingenieur- und Architekturbüros sorgen für eine hochqualitative Planung und Ausführung von Gebäuden. Hinzu kommt das deutsche Vergabesystem von Bauprojekten mit der Beteiligung vieler einzelner Fachplaner, die sich in ihrer Planungskultur hinsichtlich ihrer Abläufe deutlich voneinander unterscheiden. Es ist naheliegend, dass jedes Ingenieurbüro bei der statischen Analyse von Gebäuden anders vorgeht. Daher lassen sich nur im Groben allgemeine theoretische Ansätze festhalten. Im Folgenden werden nun die wesentlichen Unterschiede zwischen einer herkömmlichen und einer BIM-orientierten Tragwerksplanung beispielhaft erläutert.

### 3.2.1 Traditionelle Tragwerksplanung

In der heutigen Zeit arbeiten viele Statiker nach dem Prinzip der klassischen Positionsstatik. Dabei werden Bauwerke in mehrere tragende Bauteile, die sogenannten Positionen zerlegt. Jede einzelne Position muss hierbei den Anforderungen der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit sowie der Dauerhaftigkeit genügen. Dies wird jeweils bei der Berechnung der Position nachgewiesen. [17] Die Entscheidung, welche Bauteile als statisch relevant einzuteilen sind, liegt beim Tragwerksplaner. Er überlegt sich im Zuge der Planung, inwieweit sich seine festgelegten Tragsysteme für die Abtragung der Einwirkungen am Bauwerk bis in den Baugrund eignen. Tragsysteme werden auch statische Systeme genannt und bilden das reale Gebäude mehr oder weniger idealisiert ab. Die Idealisierung eines Tragwerks dient der einfacheren Berechnung von Schnittgrößen, Spannungen und Verformungen. Hierin liegt auch die hohe Kunst

für den Tragwerksplaner, seine Systeme möglichst einfach, realistisch und nachvollziehbar aufzubauen, sodass später eine plausible, verständliche und prüffähige Dokumentation der statischen Berechnung erstellt werden kann.

Vom Objektplaner zugeschickte 2D-Pläne in Form von Skizzen und Entwurfszeichnungen bilden meist die Grundlage für den Aufbau der statischen Systeme. Anschließend erfolgen die Lastermittlung und dann die Berechnung von Ergebnissen, die wiederum für die Bemessung der Bauteile herangezogen werden. Die Berechnung kann mithilfe von Erfahrungswerten, Überschlagsformeln, Excel-Sheets oder in Statik- und Bemessungsprogrammen durchgeführt werden. Gerade Letzteres ist bei komplexen Bauvorhaben nahezu unumgänglich, da herkömmliche Verfahren zur Berechnung allgemeiner Tragwerke in der Regel nur eingeschränkt anwendbar sind. Folglich ist leistungsfähige FE-Software mittlerweile zum wichtigsten Werkzeug eines Ingenieurs geworden. Die Berechnung von großen und rechenintensiven Statikmodellen ist dank der enorm verbesserten Leistungsfähigkeit von Hard- und Software kein Problem mehr. Die Vorteile gegenüber der klassischen Positionsstatik liegen dabei auf der Hand. Normalerweise muss das Tragwerk in einzelne Statik-Positionen zerlegt und berechnet werden. Die Positionen bestehen meist aus eindimensionalen Stäben, die Träger oder Unterzüge symbolisieren und zweidimensionalen Platten oder Scheiben, die Decken und Wände darstellen. Die Lasten werden von einer Position zur nächsten übertragen und die Lagerungen, welche die Verbindungen zum nächsten Teilsystem darstellen, realistisch definiert. Bei einer globalen Berechnung an Teil- oder Gesamtsystemen entfällt diese Arbeit jedoch. Durch die Modellierung der Gesamtstruktur können viele Bereiche wirklichkeitsnäher betrachtet werden. Trotzdem müssen hier Vor- und Nachteile bei der Berechnung von 3D-Statik-Gesamtmodellen genaustens bekannt sein. [17] Darauf wird in Kapitel 3.4 näher eingegangen.

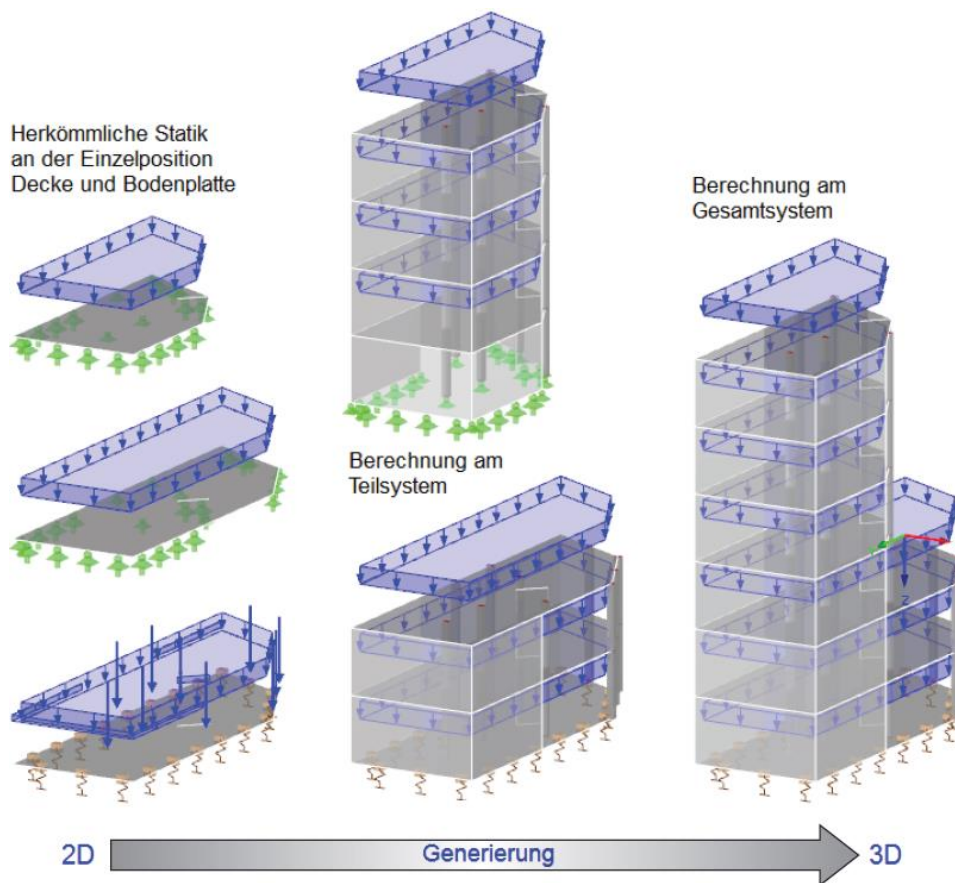


Abb. 3.8 Statische Berechnungen an Teil- und Gesamtsystemen [17]

Grundsätzlich orientiert sich die Planungsweise der Tragwerksplaner an den Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (2021). Dabei wird die statische Berechnung für die Objektplanung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken als Leistung der Tragwerksplanung bezeichnet.

Die Leistungsphasen der HOAI gliedern sich wie folgt auf [18]:

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

BIM hat nur einen geringen Einfluss auf die Grundlagenermittlung und die Vorbereitung der Vergabe. Um später einen guten Vergleich mit einer BIM-basierten Tragwerksplanung ziehen zu können, werden im Folgenden nur die wichtigsten Phasen vorgestellt.

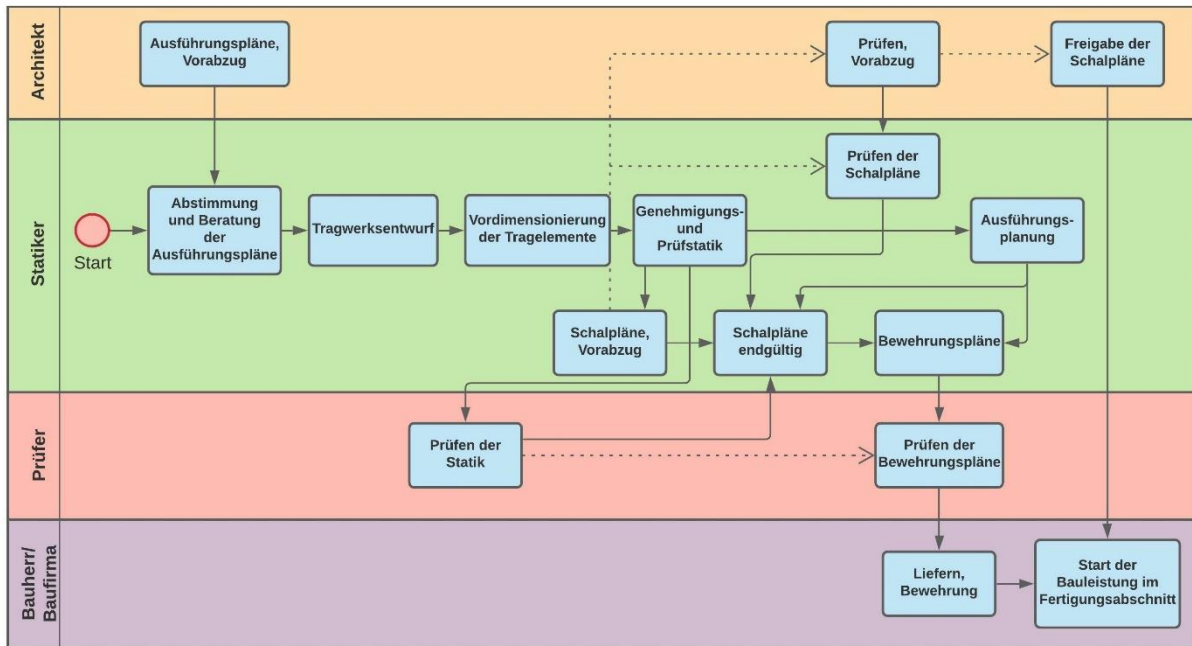


Abb. 3.9 Konventionelle Tragwerksplanung im Stahlbetonbau in Anlehnung an [76]

### 3.2.1.1 Vorplanung (LPH 2)

Nach der Grundlagenermittlung schließt sich die Vorplanung an. Hier werden erste Machbarkeitsstudien und Vergleichsberechnungen durchgeführt, um den Entwurf bezüglich seiner Umsetzbarkeit prüfen zu können. Infolgedessen findet auch schon der erste „Datenaustausch“ in Form von Skizzen zwischen Statiker und Architekt statt. Gleichzeitig werden Lasteinwirkungen, Materialien, Konstruktionsart und weitere Randbedingungen festgelegt. Mithilfe von Erfahrungswerten für die Ausführung der Tragsysteme führen die Ingenieure eine technische Beratung mit dem Objektplaner durch und beantworten ihm grundlegende Fragen zur Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit sowie Wirtschaftlichkeit des Bauwerks. Außerdem wirken die Tragwerksplaner bei der Kostenschätzung und Terminplanung mit. Die Berechnung von Statikmodellen findet hierbei noch nicht statt. [18]

### 3.2.1.2 Entwurfsplanung (LPH 3)

In der Entwurfsplanung erarbeiten die Tragwerksplaner erste einfache statische Berechnungen und Bemessungen für eine konkrete Tragwerkslösung. Sie verwenden meist einfache zugeschickte Architektenpläne für die Eingabe und Durchführung ihrer statischen Berechnung in den Statikprogrammen. Weiterhin werden die statischen und konstruktiven Annahmen aus der vorherigen Vorplanung dahingehend untersucht, ob

diese zutreffend waren, und werden gegebenenfalls weiter überarbeitet. Dadurch lassen sich Abmessungen, Baustoffe und Querschnitte festlegen. Dabei verwenden die Ingenieure die bereits zur Verfügung gestellten Pläne der Objektplanung. Auch das überschlägige Ermitteln der Bewehrungsmenge im Stahlbetonbau oder der Baustahlmenge im Stahlbau ist eine weitere Aufgabe dieser Leistungsphase. Diese Mengen dienen später als Basis für die Kostenberechnung. [18]

### **3.2.1.3 Genehmigungplanung (LPH 4)**

Die Erstellung einer prüffähigen Statik ist Hauptbestandteil in der Genehmigungsplanung. Hierfür muss, basierend auf den genehmigten Eingabeplänen, eine ausführliche statische Analyse des Gebäudes durchgeführt werden, sodass die Nachweise sowohl im Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch im Gebrauchszustand erfüllt sind. Die Ergebnisse werden in einem prüffähigen Bericht dokumentiert und mit Positionsplänen hinterlegt. Diese dienen der Kennzeichnung von statisch relevanten Bauteilen. [18]

### **3.2.1.4 Ausführungsplanung (LPH 5)**

In der Ausführungsplanung liegt der Fokus auf dem Anfertigen von Ausführungsplänen. Damit sind im Stahlbetonbau Schal- und Bewehrungspläne gemeint. Im Stahl- oder Holzbau sind es vorwiegend Konstruktionspläne. Die Pläne dienen später der Bauausführung. Als Grundlage werden hier die Ergebnisse aus den vorangegangenen Leistungsphasen und die abgeschlossene Ausführungsplanung des Objektplaners verwendet. Nach Erstellung der Ausführungspläne erfolgt die Weitergabe der Pläne an den Architekten, der diese dann freigibt. [18]

## **3.2.2 Tragwerksplanung im BIM-Prozess**

Schon seit Längerem beschäftigen sich immer mehr Tragwerksplaner mit der BIM-Methode. Sie erkennen die neuen Möglichkeiten und nutzen die Chance, ein bereits erstelltes 3D-Modell weiter für statische Berechnungen zu verwenden. Dabei sind 3D-Modelle für viele nichts neues. Im Stahlbau beispielsweise wird schon seit mehr als zwanzig Jahren in 3D geplant. [19] Somit kann auf ausreichende Erfahrung in der Berechnung von 3D-Modellen zurückgeblickt werden. Trotzdem sollten die Unterschiede, Chancen und neuen Herausforderungen, die in diesem Abschnitt in den klassischen Leistungsphasen vorgestellt werden, jedem Statiker bekannt sein.

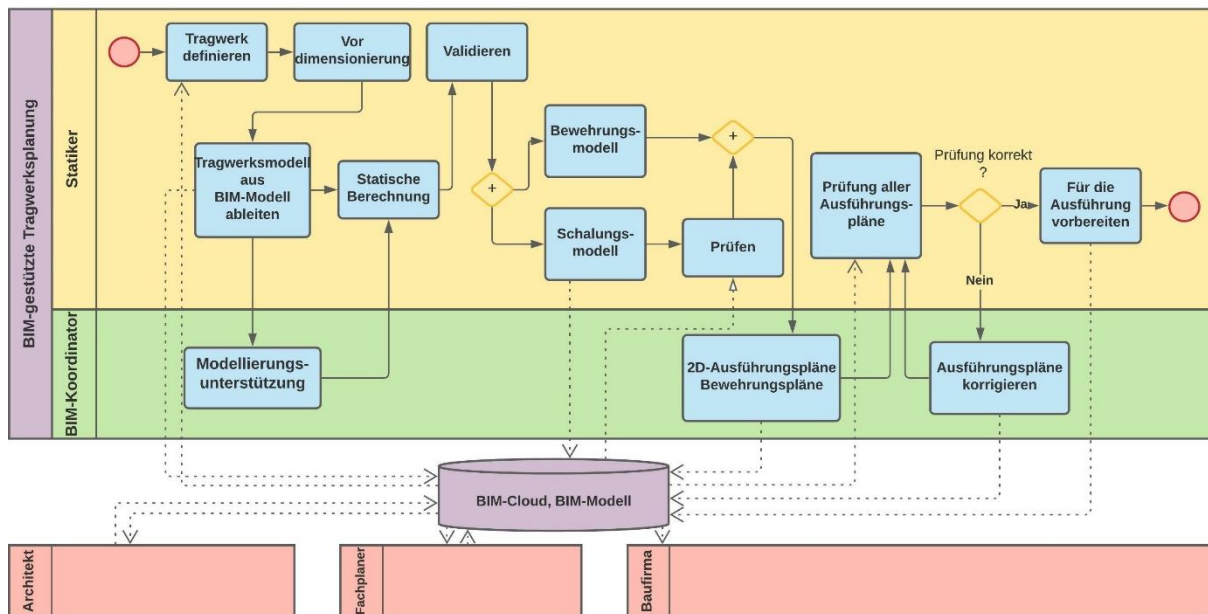


Abb. 3.10 BIM-orientierte Tragwerksplanung im Stahlbetonbau [84]

Einer der größten Unterschiede in der BIM-Methodik ist die „Vorarbeit“, die für die Zielplanung eines Projekts gemeinsam mit verantwortlichen Planern und Beteiligten geleistet werden muss. Am Anfang eines jeden BIM-Projekts werden daher die planerischen Randbedingungen in Form zweier Dokumente verfasst. Dies ist zum einen die Formulierung der Auftraggeber-Informationen-Anforderung (AIA) durch den Bauherrn und zum anderen die Erstellung eines BIM-Abwicklungsplans (BAP) durch den BIM-Koordinator in Abstimmung mit den Fachplanern. Sie stellen einen gewissen Mehraufwand dar und werden in der HOAI nicht abgedeckt. [21]

Die AIA beschreibt, wann welche Daten in welcher Detailtiefe und in welchem Format benötigt werden und gibt den Informations- beziehungsweise Datenfluss für alle Planer vor. Sie wird vom Bauherrn respektive Auftraggeber ausgearbeitet und dient als Basis für die Erstellung des BAP. Damit sich die beteiligten Planer und Ausführende an einer digitalen Projektabwicklung orientieren können, werden im BAP die Vorgehensweisen und genauen Abläufe konkretisiert. Aus dem Inhalt des zuvor definierten AIA werden im BAP Informationen zum Projekt, den zuständigen Projektbeteiligten, den Projektzielen und deren Strategien erarbeitet. Er wird vom Auftragnehmer erstellt und beantwortet alle Fragen rund um die Verantwortlichkeiten und Abläufe in einem BIM-Prozess. [21] [22]



Weiter sollten auch Modellierungsrichtlinien klar unter den Projektbeteiligten festgehalten und kommuniziert werden. Sie sind ein unverzichtbarer Bestandteil einer erfolgreichen Planung und können durch eine einheitliche Gestaltung die Zusammenarbeit erleichtern. Als Beispiel kann hier die abgestimmte Definition von Ebenen sowie eines Ursprungs in allen Fachmodellen erwähnt werden. [19]

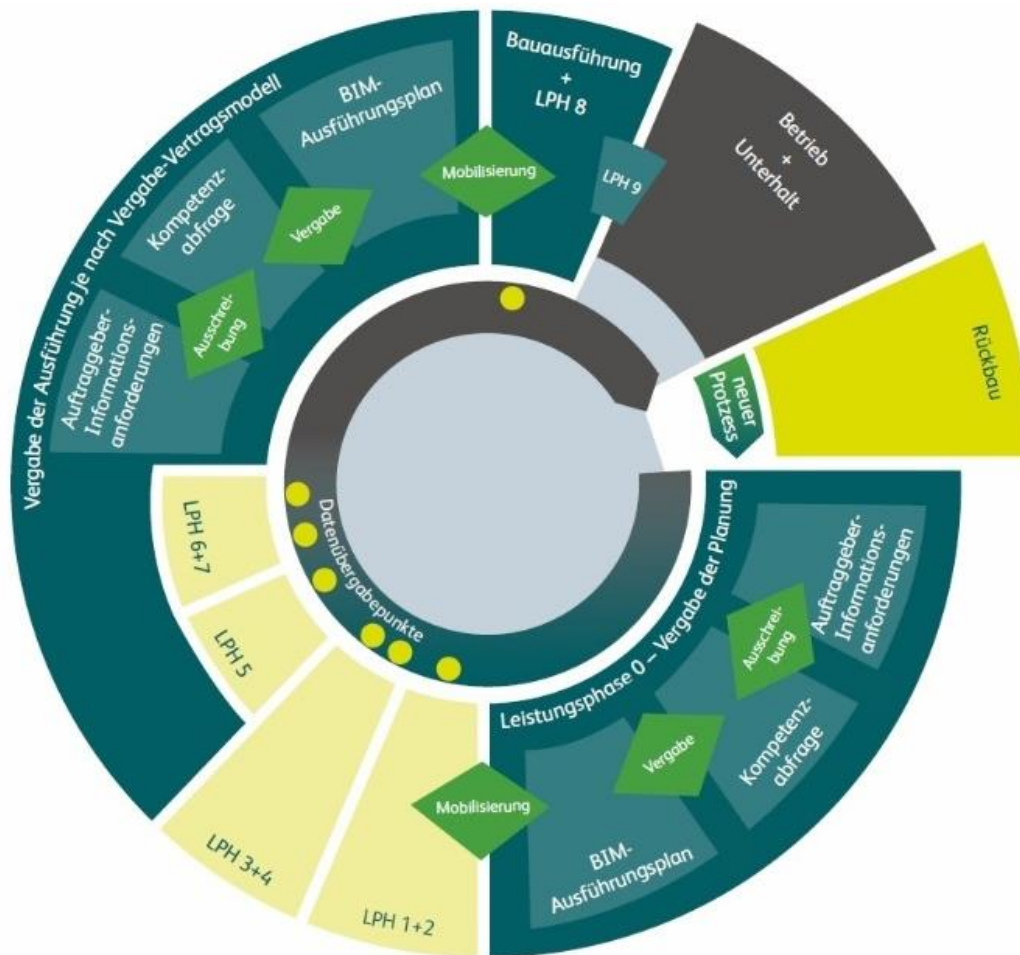


Abb. 3.11 Schematische Darstellung des BIM-Referenz-Prozesses [1]

### 3.2.2.1 Vorplanung (LPH 2)

Während in einer klassischen Tragwerksplanung vorwiegend erst Skizzen und 2D-Pläne zur Verfügung stehen, liegt der Schwerpunkt bei einer BIM-gestützten Tragwerksplanung bei der Erstellung eines dreidimensionalen Gebäudemodells. Dabei steht der Tragwerksplaner dem verantwortlichen Objektplaner unterstützend zur Seite und wirkt aktiv bei der Modellierung des BIM-Modells mit. Durch das frühe Einbinden des Tragwerksplaners können schon im Vorfeld wichtige geometrische Randbedingungen zum Beispiel Systemlinien bei Decken und Stützen sowie Massen und Kosten am räumlichen Modell für die einzelnen Varianten ermittelt werden. [20] Falls im BAP gefordert,

wird bereits in Leistungsphase 2 ein 3D-Gebäudemodell des Architekten in ein Fachmodell für die Tragwerksplanung überführt. Die statisch relevanten Daten, die der Tragwerksplaner für seine eigenständigen und überschlägigen statischen Berechnungen braucht, kann er dem Fachmodell entnehmen. Daraufhin gibt er die überarbeiteten Erkenntnisse durch die Anpassung seines Fachmodells an den Objektplaner weiter. Wenn kein Fachmodell erforderlich ist, kann der Tragwerksplaner dem Architekten seine Ergebnisse auch in Form von Skizzen zuspielen, der daraufhin das Gesamtmodell aktualisiert. [21]

### **3.2.2.2 Entwurfsplanung (LPH 3)**

Spätestens in der Entwurfsplanung findet eine Erstellung des Tragwerksmodells statt. Anders als bei der traditionellen statischen Berechnung, die vor allem den Import von 2D-Plänen in die Statikprogramme beinhaltet, werden entweder erste Pläne aus dem Tragwerksmodell abgeleitet oder gleich Analysemodelle in den CAD-Programmen erstellt. Die Analysemodelle werden weiter für die Übergabe an die Berechnungsprogramme verwendet. Beide Varianten führen in dieser Leistungsphase zu einer überschlägigen Berechnung und Bemessung von Bauteilen. Weiterhin werden weitere konstruktive Detailpunkte festgelegt und anhand des BIM-Modells erste Schätzungen zu Mengen und Kosten abgegeben. [20] [21]

### **3.2.2.3 Genehmigungsplanung (LPH 4)**

Mit der Genehmigungsplanung beginnt gleichzeitig die Erzeugung einer prüffähigen Statik und somit wird auch die meiste Arbeit in den Berechnungsprogrammen erledigt. Das überführte Analysemodell in ein Berechnungsmodell in den Statikprogrammen erfordert eine gute Absprache unter den Projektbeteiligten. Die statische Verknüpfung von tragenden Bauteilen muss in den CAD-Programmen aktiviert werden, sodass ein möglichst reibungsloser Datenaustausch zwischen der CAD- und Statik-Schnittstelle stattfinden kann. So können Informationsverluste möglichst ausgeschlossen werden.

Je nach Anwendungsfall können statische Nachweise an 3D-Gesamtmodellen oder an abgeleiteten Teilsystemen erbracht werden. Nachweise hinsichtlich der Dynamik und der Gesamtstabilität werden dabei an Gesamtmodellen durchgeführt, während einzelne Bauteile separat untersucht und nachgewiesen werden. Für die Gewährleistung der Tragfähigkeit können Ergebnisse wie Schnittgrößen, Verformungen und Spannungen außerhalb des Berechnungsmodells exportiert werden und in Einzelprogrammen



für die Bemessung der Tragglieder verwendet werden. Die Ergebnisse der Bemessung sind wiederum in das Fachmodell einzupflegen sowie durch Ableitung aus dem Fachmodell in den 2D-Positionsplänen darzustellen. [21]

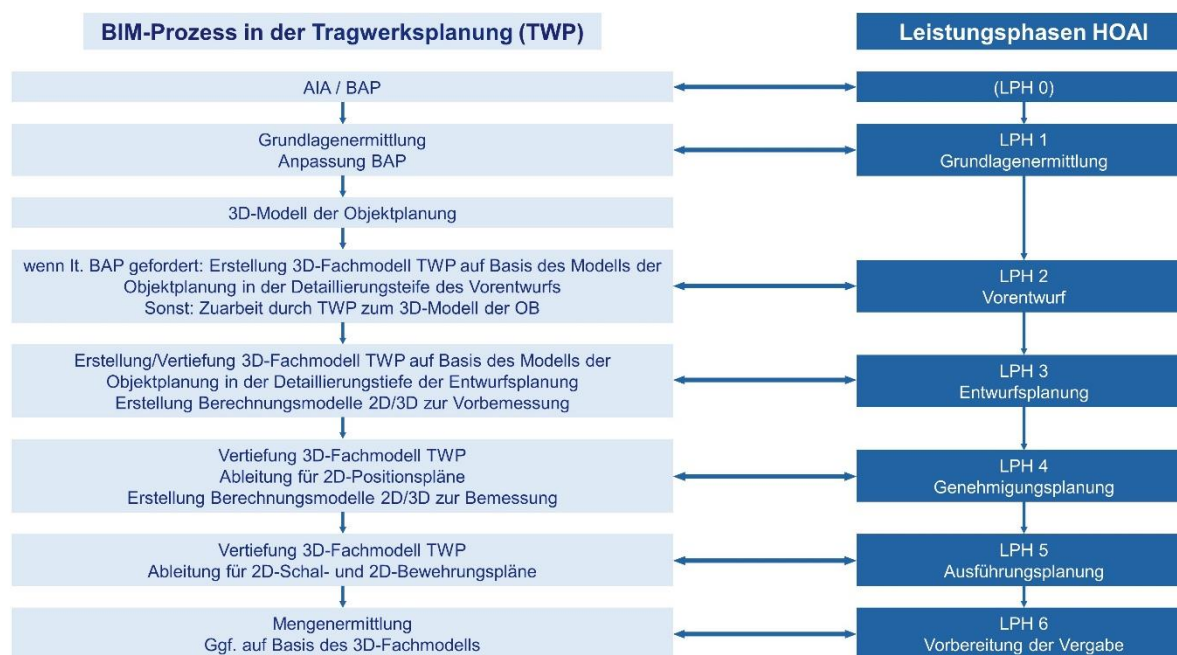


Abb. 3.12 Übersicht über die Leistungsphasen in Anlehnung an [21]

### 3.2.2.4 Ausführungsplanung (LPH 5)

Im Mittelpunkt der LPH 5 steht die Ableitung von Plänen auf Basis des 3D-Modells. Dadurch können 2D-Schalpläne sowie 2D-Bewehrungspläne erzeugt werden. Zudem werden im Stahl- und Holzbau auch Detailzeichnungen sowie Stück- und Mengenlisten aufgestellt. Der erhöhte Aufwand in den vorausgegangenen Leistungsphasen zahlt sich nun in der Ausführungsplanung aus. Grundrisse, Schnitte und Ansichten können nun leicht aus dem Modell abgeleitet werden, sodass sie stets konsistent sind und bei Änderungen schnelle Korrekturen vorgenommen werden können. Die Pläne geben den aktuellen Planungsstand wieder. So lässt sich beispielsweise für die Bewehrungsplanung die Schalung sowohl für horizontale als auch vertikale Bauteile aus dem Modell ableiten. [21]

## 3.3 Methoden und Ansätze in der BIM-Planung

Die Struktur und Arbeitsweisen der deutschen Planungsbüros sind untereinander kaum zu vergleichen, denn jedes Ingenieurbüro plant anders. Während in konservativen Büros noch klassische 2D-Pläne verschickt werden, haben sich bei innovativen

Unternehmen mit der Zeit verschiedene technologische Ansätze und Entwicklungsstufen bei der Umsetzung von BIM entwickelt. Auch bei den Tragwerksplanern ergeben sich durch den zunehmenden Einsatz der BIM-Arbeitsweise neue Möglichkeiten in der Art der Planung und der Zusammenarbeit mit Projektbeteiligten. Dabei haben sich in der Vergangenheit vier Methoden beziehungsweise Strategien etabliert.

### **3.3.1 little BIM**

#### **3.3.1.1 Allgemeines**

Die Strategie hinter little BIM ist die Anwendung einer spezifischen Softwarelösung durch ein einzelnes Planungsbüro. Diese Methode wird auch als Insellösung verstanden, da es nur innerhalb einer Fachdisziplin genutzt wird. Der Fachplaner hat die Möglichkeit sein digitales Gebäudemodell eigenständig zu erzeugen und seine Pläne daraus abzuleiten. Der Datentransfer über andere Software-Schnittstellen findet dabei nicht statt. Genauso werden auch keine gemeinsamen Modelle mit anderen Fachplanern ausgetauscht. Die Kommunikation und der Austausch von Informationen erfolgen auf herkömmlichen Wegen in Form von Zeichnungen. [10]

#### **3.3.1.2 Anwendungsbereich**

Da sich little BIM nur auf eine Fachplanung beschränkt, eignet es sich ideal für den Einstieg in eine BIM-basierte Tragwerksplanung. So können anhand von Pilot-Projekten erste Erfahrungen gesammelt werden und diese später an größeren Bauvorhaben erweitert werden. Bisher hat sich auch in der Praxis dieser Ansatz bei den meisten Tragwerksplanern für nahezu alle Projektgrößen bewährt. Ein großer Vorteil ist nämlich die vollständige Kontrolle über seine eigenen Leistungen, sodass die Verantwortlichen für die Qualität ihrer Gebäudemodelle selbst zuständig sind und sich nicht von anderen Planern abhängig machen. [23]

Allerdings wird bei einer Insellösung das Potential einer durchgängigen Nutzung digitaler Bauwerksmodelle nicht ausgeschöpft. Das gewonnene Wissen über das Bauprojekt behält der jeweilige Fachplaner, folglich geht bei jedem beendeten Vorhaben auch ein kleines Stück Wissen verloren. Der Datenaustausch geschieht über Pläne, sodass BIM hier unter allen Projektbeteiligten nicht seine kompletten Synergien ausspielen kann. Auch die Schnittstellenthematik spielt in diesem Fall eine untergeordnete Rolle. [10]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Absolute und vollständige Kontrolle über das Gebäudemodell</li> <li>✓ Unabhängiges Arbeiten des Fachplaners in einem BIM-Prozess</li> <li>✓ Keine Abhängigkeit anderer Planer bezüglich der Qualität des Fachmodells</li> <li>✓ Effizientes Arbeiten und hohe Qualität der Gebäudemodelle innerhalb der Fachdisziplinen</li> <li>✓ Geeignet für den Beginn und Pilot-Projekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Keine durchgängige Nutzung von Bauwerksinformationen</li> <li>❖ Keine Weiterverwendung von intelligenten Daten unter den Fachplanern</li> <li>❖ Kommunikation und Datenaustausch auf "klassischem" Weg in Form von Plänen, Skizzen und E-Mail-Verkehr</li> <li>❖ Größere Informationslücken unter den Fachplanern</li> <li>❖ Zum Teil unausgeschöpftes Potential in der BIM-Philosophie</li> </ul>

Abb. 3.13 Vor- und Nachteile bei little BIM [84]

### 3.3.1.3 Beispiel

Ein Ingenieurbüro für Tragwerksplanung hat sich im Rahmen der Verhandlungen mit den Projektbeteiligten für die Variante little BIM entschieden. Nachdem die Pläne vom Objektplaner eingereicht wurden, wird ein dreidimensionales digitales Gebäudemodell mittels geeigneter BIM-Software erstellt. Dieses Gebäudemodell basiert auf den Zeichnungen des Architekten. Das Modell wird ausschließlich für interne Zwecke benutzt und eine Weitergabe zu anderen Fachplanern findet nicht statt. Der Austausch erfolgt lediglich über Pläne. Nach Fertigstellung des Modells können Schnitte, Grundrisse und Ansichten abgeleitet werden. Mithilfe des Gebäudemodells lassen sich auch Massenermittlungen durchführen oder die Anzahl aller tragenden Bauteile bestimmen.

Im Verlauf der weiteren Planung wird gleichzeitig ein analytisches Statikmodell erstellt und in die Statikprogramme überführt. Dass aus abgeleiteten Plänen des Gebäudemodells ebenfalls Statikmodelle in Form von Gesamt- oder Teilsysteme entstehen, stellt eine weitere Möglichkeit dar. Der Tragwerksplaner hat hier grundsätzlich freie Wahl. Um aber aus einer BIM-orientierten Planung wirklich zu profitieren, empfiehlt sich die Weiterverwendung des Analysemodells, um Tragwerksnachweise durchführen zu können. Voraussetzung für die Erzeugung eines Analysemodells ist allerdings die nötige BIM-Software in der Modellierung und Statik. Die CAD-Programme müssen in diesem Fall in der Lage sein, ein analytisches Modell erstellen zu können, anderer-

seits müssen die Statikprogramme den Import der Analysemodelle anbieten. Andernfalls muss auf andere Schnittstellen zurückgegriffen werden. Im Kapitel 4 wird mehr auf das Thema Schnittstellen eingegangen.

Anschließend folgt die klassische Tragwerksberechnung, die sich in einem BIM-Prozess nicht ändert. Die Ergebnisse der statischen Berechnungen werden in der Prüfstatik dokumentiert. Nebenbei werden auch Schal-, Bewehrungs-, und Detailpläne angefertigt, deren Bemaßungen und Geometrie aus dem Gebäudemodell entnommen werden. Diese Pläne werden dann an den Objektplaner weitergegeben.

### **3.3.2 BIG BIM**

#### **3.3.2.1 Allgemeines**

Der Ansatz bei BIG BIM ist die durchgängige Nutzung von digitalen Gebäudemodellen über verschiedene Disziplinen und Lebenszyklen. Ein fachübergreifendes Arbeiten zwischen allen Projektbeteiligten ermöglicht ein neues Level der Kommunikation und Kollaboration eines BIM-Projekts. Mittels digitaler Gebäudemodelle haben alle Projektbeteiligten Zugang zu allen nötigen Bauwerksinformationen. Für den Datenaustausch werden gemeinsame Datenbanken und Plattformen benutzt, um die Verständigung unter den Fachplanern besser koordinieren zu können.

#### **3.3.2.2 Anwendungsbereich**

BIG BIM vertritt den richtigen Grundgedanken bei der BIM-Arbeitsweise. Insofern als dass alle Planer an Bord geholt werden und gemeinsam am digitalen Gebäudemodell arbeiten. So wird ein konsistenter und durchgängiger Ablauf der Wertschöpfungskette eines Bauvorhabens möglich. Jeder Planer weiß, woran die andere Fachdisziplin gegenwärtig arbeitet, und kann alle Eigenschaften an einem zentralen Modell einsehen. Darüber hinaus wird durch die ständige Zusammenarbeit der Planungsstand des Projekts immer aktuell gehalten. [10]

Der Aufwand ist bei BIG BIM aber nicht zu unterschätzen. Hier ist ein gutes Management erforderlich, das die Aufgaben genauestens strukturiert und koordiniert. Daher ist es erst mit hinreichender Erfahrung ratsam, diese Methode im Ingenieurbüro einzusetzen. Zudem muss hier stets ein Ansprechpartner im Sinne eines BIM-Fachkoordinators zur Verfügung stehen, was einen zusätzlichen zeitlichen Aufwand mit sich führt.

Die Leistung der jeweiligen Fachplanung ist stark abhängig von der Qualität des Gebäudemodells, denn nun werden die Fachmodelle aus dem Gebäudemodell abgeleitet und ist dieses nicht gut, leidet auch der Zustand des Fachmodells darunter. Allgemein trifft das auch auf die Planungsqualität der BIM-Projektbeteiligten zu, deren Erfahrung den Erfolg des Projektverlaufs bestimmt. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich BIG BIM bisher nicht wirklich in Europa durchsetzen konnte. Aktuell gibt es noch zu wenige BIM-affine Planer. [24]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Durchgängige Lösung</li> <li>✓ Zugang zu allen Bauwerksinformationen</li> <li>✓ Ständige Planungsaktualität</li> <li>✓ Konsistenter Informationsfluss</li> <li>✓ Besseres Controlling und genauere Fehleranalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Aufwendiger und zeitintensiver</li> <li>❖ Geeignetes Fachpersonal (Fachkoordinator) notwendig</li> <li>❖ Abhängigkeit der Fachplaner hinsichtlich der Qualität des Gebäudemodells</li> <li>❖ Qualität des Gebäudemodells fällt oder steigt mit der Erfahrung des Objektplaners</li> <li>❖ „Viele Köche verderben den Brei“</li> </ul>

Abb. 3.14 Vor- und Nachteile bei BIG BIM [84]

### 3.3.2.3 Beispiel

Das Büro für Tragwerksplanung benutzt die BIG BIM-Methode, nachdem sich alle Projektbeteiligten zu Beginn des Bauvorhabens darauf geeinigt haben. Der Objektplaner fängt an, ein zentrales Gebäude zu modellieren. Dabei berät ihn der Tragwerksplaner und gibt konstruktive Vorschläge hinsichtlich der Tragstruktur. Nicht nur der Tragwerksplaner, sondern darüber hinaus auch weitere Fachplaner arbeiten an dem gemeinsamen Gebäudemodell. Folglich werden weitere Informationen eingepflegt und das Modell wächst an Daten. Die Kommunikation und Kollaboration erfolgt dabei auf gemeinschaftlichen Plattformen, während die Modellerstellung auf gemeinsamen Datenbanken in den Programmen beruht.

Anschließend bearbeitet der Statiker sein Fachmodell der Tragwerksplanung und überführt es für seine statischen Berechnungen entweder in ein Analysemodell oder leitet geeignete Pläne davon ab, die für den Import in die Statikprogramme geeignet sind. Die Erkenntnisse aus der Tragwerksanalyse übermittelt er wieder an die anderen Fach- bzw. an den Objektplaner, sodass das Fachmodell gegebenenfalls angepasst

und erweitert wird. Der Austausch von koordinierten Fachmodellen ist daher ein elementarer Bestandteil dieser Methodik. Abschließend werden Pläne für die Ausführungsphase vorbereitet.

### 3.3.3 Closed BIM

#### 3.3.3.1 Allgemeines

Während es bei little BIM und BIG BIM mehr um die Durchgängigkeit der Zusammenarbeit geht, liegt der Schwerpunkt bei Closed BIM und Open BIM auf der softwaregestützten Offenheit und den benutzten Schnittstellen. Bei Closed BIM verwenden die Planer direkte bzw. proprietäre Schnittstellen, sodass diese Methode auf einer geschlossenen Softwarelandschaft basiert. Eine geschlossene Softwarelandschaft bedeutet, dass die Programme unterschiedlicher Hersteller direkt miteinander Daten sowohl in die eine Richtung (Import) als auch in die andere Richtung (Export) austauschen können. Das geschieht durch sogenannte „native Daten“, die in beiden Programmen gelesen und geschrieben und beim Datenaustausch in den jeweiligen Programmen verarbeitet werden können. Dadurch kommt den Softwareherstellern eine große Bedeutung zu, da sie die Voraussetzung für die Anwendung der Closed BIM-Methode bilden und die Anwender daran gebunden sind. [10] [25]

#### 3.3.3.2 Anwendungsbereich

Der Ansatz von Closed BIM bietet eine hohe Planungsqualität innerhalb der eigenen Fachdisziplin, da der Austausch von Daten in der gleichen Produktfamilie meist fehlerfrei funktioniert. Durch die Benutzung identischer Dateiformate und Datenbanken sind Informationsverluste beim Austausch von Modellen nahezu ausgeschlossen. Gerade für die Tragwerksplanung bietet es einen optimalen Workflow, da die vorherrschenden kommerziellen CAD- und Statik-Programme über direkte Schnittstellen sehr gut harmonieren. Das steigert die Effizienz, Genauigkeit und Schnelligkeit in der Bearbeitung der Modelle bei eingespielten und gleichbleibenden Teams. Auch die äußerst gute Umwandlung von Analysemodellen zu Berechnungsmodellen spricht für diese Arbeitsweise. In der Praxis hat sich die Closed BIM-Methode in der Tragwerksplanung mittlerweile durchgesetzt, weil die Qualität des Analyse- und Berechnungsmodells für eine statische Berechnung essenziell ist. Denn für Planungsteams hat der Datenaustausch und der Zustand der Modelle einen sehr hohen Stellenwert in einer BIM-orientierten

Zusammenarbeit unterschiedlicher Gewerke. Ein Gespräch mit der Fachgruppe „Tragwerksplanung“ von buildingSMART bestätigt ebenfalls die breite Anwendung unter den Statikern. [25]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guter, meist fehlerfreier Datenaustausch</li> <li>✓ Nahezu keine Informationsverluste bei der Übergabe von Modellen</li> <li>✓ Softwarelandschaft ist breit aufgestellt, führende Softwarehersteller bieten bereits gute Lösungen an</li> <li>✓ Hohe Modellqualität</li> <li>✓ Vereinfachte Koordination von Fachmodellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Eingeschränkte Flexibilität bei der Übergabe von Bauwerksinformationen an externe Planer</li> <li>❖ Abhängigkeit der Projektbeteiligten von Software</li> <li>❖ Nicht jeder Planer kann teilnehmen, wenn gewünschte Software nicht vorhanden ist</li> <li>❖ Zugriff auf Daten nur eingeschränkt möglich, besonders in späteren Phasen des Projekts, z. B. nach Fertigstellung des Gebäudes</li> </ul>

Abb. 3.15 Vor- und Nachteile bei Closed BIM [84]

Closed BIM mag bisher sehr gut laufen, trotzdem ist es nicht im Sinne eines BIM-Projektes, bei dem die Software eigentlich eine untergeordnete Rolle spielen sollte. Die Beteiligten begeben sich deshalb in eine Abhängigkeit von Softwareprodukten und schließen dadurch andere Parteien aus, die nicht über BIM-fähige Programme verfügen. BIM-fähig bedeutet in diesem Fall, eine Kompatibilität unter den verschiedenen Programmen zu besitzen. Obwohl der Tragwerksplaner über ein Statikprogramm verfügt, kann er an diesem Prozess nicht teilhaben, da sein Werkzeug mit der CAD-Software nicht über direkte Schnittstellen kommunizieren kann. Von außen kann auf die Bauwerksinformationen bei nicht vorhandener Software in einer späteren Lebensphase des Gebäudes nicht zugegriffen werden. Das schadet dem Wettbewerb und allen, die an BIM-Projekten teilnehmen wollen, aber nicht können, aufgrund der nicht vorhandenen beziehungsweise nicht geeigneten Software. Die Planungskultur wird eingeschränkt und gleichzeitig sinkt die Flexibilität bei der Übergabe von Daten an externe Fachplaner. Folglich setzt diese Variante eine Softwarelandschaft voraus, an die sich die Projektbeteiligten halten müssen und die Auswahl der Planungsprogramme somit begrenzt. Andernfalls muss die nötige Ausstattung zusätzlich erworben werden oder die Teilnahme am Projekt scheitert. [25]



### 3.3.3.3 Beispiel

Ein Statikbüro profitiert bei einem BIM-Projekt, weil der Objektplaner mit der Programmfamilie Revit des Herstellers Autodesk arbeitet und die statische Berechnung mit SOFiSTiK geschieht. Da beide Programme über gemeinsame und direkte Schnittstellen sowie Plugins verfügen, erfolgt der Austausch von Daten hervorragend. So kann das in Revit parallel erstellte Analysemodell fehler- und verlustfrei in die Statikprogramme von SOFiSTiK exportiert werden. Außerdem bietet SOFiSTiK einen hundertprozentig durchgängigen BIM-Workflow in der Bauplanung an, sodass neben der statischen Tragwerksanalyse auch die Schal- und Bewehrungsplanung mit den Tools von SOFiSTiK und Revit durchgeführt werden kann. Die Resultate der baustatischen Analyse können direkt in Revit dargestellt werden und stehen damit bei einer Zusammenarbeit über ein Zentralmodell allen Projektbeteiligten zur Verfügung. [26]

Bei einem Ansatz von Closed BIM ist daher immer zu beachten, dass die BIM-Software über ein breites Funktionsspektrum verfügen sollte, um mehrere Fachplanungsdisziplinen abdecken zu können. Heutzutage bedeutet Closed BIM meistens, dass die BIM-Software Revit verwendet wird und alle anderen Planungstools der Gewerke an Revit angebunden sein müssen.

### 3.3.4 Open BIM

#### 3.3.4.1 Allgemeines

Im Gegensatz zu Closed BIM ist Open BIM an einem offenen Datenaustausch interessiert. Hier kommen mehrere Softwareprodukte unabhängiger Hersteller zum Einsatz, die ihre Datenstrukturen in Form von neutralen Dateiformaten bereitstellen. Die Absicht hinter Open BIM ist daher die software- und gewerkeübergreifende Arbeitsweise, sodass alle beteiligten Planer ihre Planungstools frei auswählen können und der Informationstransfer transparent gestaltet werden kann. [25]

Open BIM beruht auf offenen und herstellerunabhängigen Austauschformaten. Hier sind IFC (Industry Foundation Classes) und BCF (BIM Collaboration Format) als solche erwähnenswert. IFC dient als neutrale Schnittstelle, um den unterschiedlichen Programmen die Möglichkeit zu geben, BIM-Daten schreiben und lesen zu können. BIM-fähige Softwareapplikationen unterschiedlicher Fachbereiche wie Architektur und Statik können dadurch kommunizieren. Das Kapitel 4.3.1 greift das IFC-Format noch weiter auf. Das BCF hingegen kann als offenes Kommunikationsformat verstanden



werden. Es ergänzt das IFC um eine modellbasierte Kommunikation, sodass Änderungen und Anpassungen am Gebäudemodell dokumentiert werden können und für andere ersichtlich sind. [10]

### 3.3.4.2 Anwendungsbereich

Open BIM steht wie keine andere Variante zuvor für eine zukunftsorientierte und interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachplaner sowie deren unabhängige Softwarenutzung. Infolgedessen wird keinem Planer vorgeschrieben, welches Programm verwendet werden muss. Zumal Planer verschiedener Fachdisziplinen oftmals eine andere Software verwenden, kann sichergestellt werden, dass jede Fachdisziplin die optimale Softwarelösung wählen kann. Des Weiteren kann jeder Projektbeteiligte auch bei einem Wechsel seiner Programmpalette auf die Daten zugreifen, da die Projektdaten weiterhin vorhanden bleiben. Aufgrund des implementierten Standards sind die Programme in der Lage, BIM-Daten zu übertragen, zugeschnitten auf den jeweiligen Fachbereich. So bekommt der Statiker beispielsweise nur das Tragwerk bereitgestellt, das Wände, Decken und Stützen enthält. [27]

Die wohl wichtigste Voraussetzung bei Open BIM ist die Funktionalität der Softwareprodukte, die erstens das IFC-Format lesen und schreiben müssen. Zweitens sollen sie auch die Qualität der Daten beim Import und Export gewährleisten. Für einige Anwendungsfelder erzielt Open BIM in der Praxis bereits sehr gute Ergebnisse. Beispielsweise können damit mehrere Gewerke Kollisionsanalysen, Mengen- und Kostenermittlungen bewältigen.

Hingegen findet Open BIM bei der Tragwerksplanung beziehungsweise bei der statischen Berechnung kaum statt. Der Austausch von Analysemodellen ist mittels des offenen Standardformats IFC nicht einwandfrei. Zu wenig Informationen über statisch relevante Objekte werden übertragen, zu fehleranfällig ist der Datenaustausch beim Import und Export und zu schwierig gestaltet sich die Implementierung bei den Softwareherstellern. Das sorgt für Frust bei vielen Anwendern in der Tragwerksplanung, sodass der Datentransfer mittels offener Schnittstellen zwar ein Wunschdenken ist, aber aktuell nicht geeignet ist für eine effektive Zusammenarbeit. Die Gründe, warum das IFC nicht gerade für einen Datenaustausch unter Statik- und CAD-Programmen gemacht ist, wird im Kapitel 4.3.1.7 genauer diskutiert.

Weiter ist das Fehlen beziehungsweise die Entwicklung von gemeinsamen Richtlinien ein Hindernis in der Nutzung des Open BIM-Ansatzes. Es müssen Handlungsanweisungen und Übergaberoutinen formuliert werden, die möglichst allumfassend gültig sind, um einen verlustfreie Informationsübergabe sicherstellen zu können. Dieser Aufwand erfordert viel Zeit und kann jeweils von Planer, Software, Projekt und Aufgabenstellung her unterschiedlich sein. [25]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Offene und transparente Herangehensweise an den Planungsprozess</li> <li>✓ Teilnahme eines jeden Fachplaners am BIM-Prozess</li> <li>✓ Beliebige Auswahl einer BIM-fähigen Software</li> <li>✓ Zukunftsorientierte Arbeitsweise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ungenügende Modellqualität aufgrund fehlerhafter Datentransfers</li> <li>❖ Häufige Informationsverluste beim Datenaustausch</li> <li>❖ Schwierige Implementierung offener Standards in Programmen</li> <li>❖ Keine bis wenige gemeinsame Richtlinien hinsichtlich der Nutzung, Modellierung und Verarbeitung der Daten</li> </ul>

Abb. 3.16 Vor- und Nachteile bei Open BIM [84]

### 3.3.4.3 Beispiel

Bei einem BIM-Projekt entscheiden sich die Planer für einen IFC-basierten Austausch von Bauwerksdaten. Da die IFC-Schnittstelle nur für einige Anwendungsbereiche wie der Kollisionsprüfung ausreichend gut funktioniert, nutzt das Ingenieurbüro für die Erstellung eines sinnvollen Analysemodells den SCIA Autoconverter. Dort werden IFC-Daten eingelesen und diese in das SAF-Format (Structural Analysis Format) konvertiert. Der Vorteil hierbei ist, dass hochgeladene Strukturmodelle aus beliebigen CAD-Systemen ohne Neumodellierung umgewandelt werden. Anschließend kann daraus ein Analysemodell erstellt werden, was wiederum für weitere statische Berechnungen verwendet werden kann. [28]

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 an die Planungsprozesse gestalten.

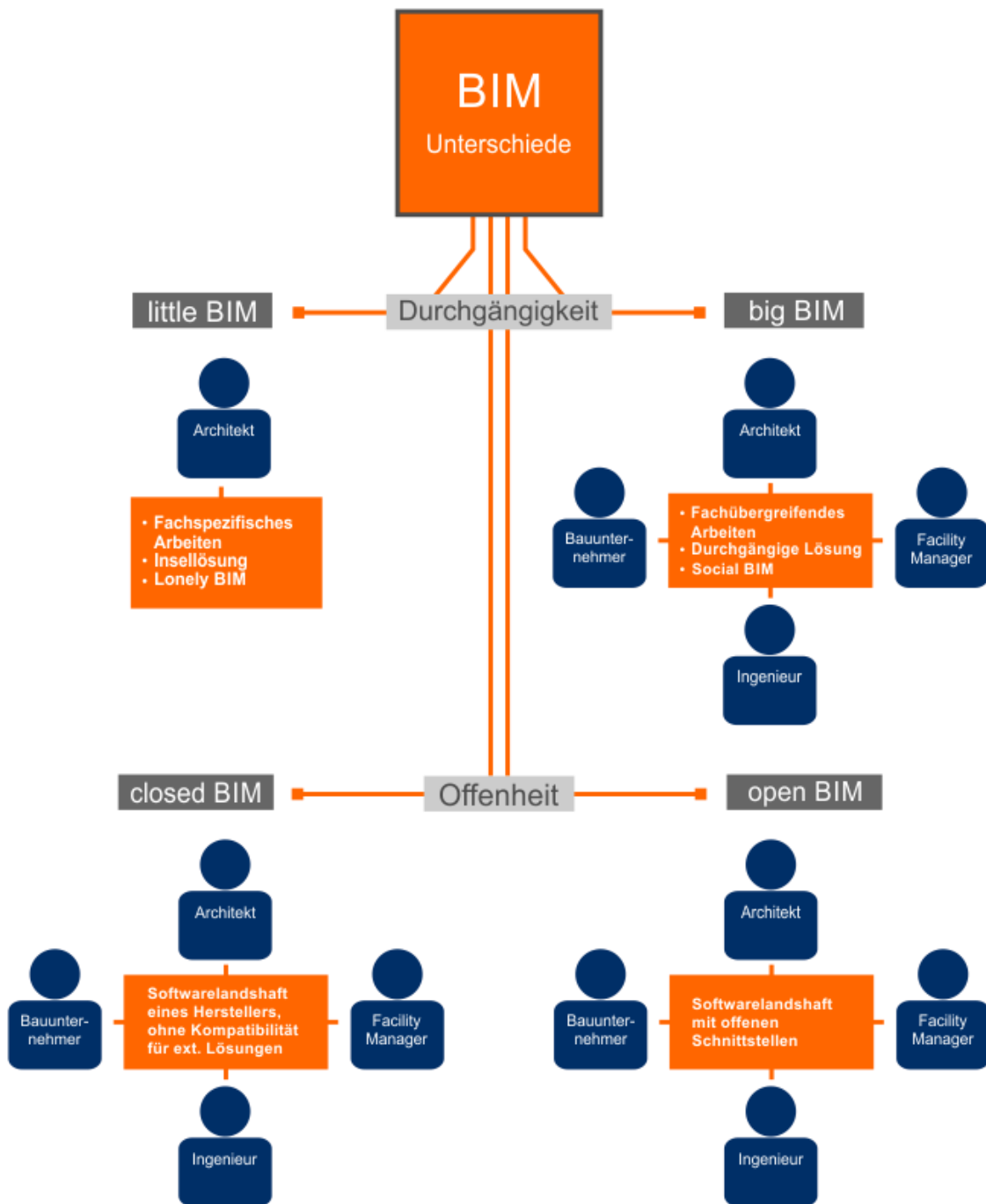


Abb. 3.17 Vergleich und Unterschiede der BIM-Methoden in Anlehnung an [25]

### 3.3.5 Weitere Methoden und Ansätze in der BIM-Planung

Es ist nicht üblich, dass in den BIM-Projekten lediglich ein Ansatz verwendet wird. Häufig sind es viel mehr Mischformen und eine Kombination der vorher genannten Technologiestufen, die benutzt werden und durch die Parameter Durchgängigkeit und Offenheit beeinflusst werden. Im Folgenden werden die vier gängigsten Kombinationen aufgezählt. [25]

Bei einer **little closed BIM** Lösung arbeitet nur eine Fachdisziplin an einem digitalen Gebäudemodell, ohne die Daten mit weiteren Teilnehmern auszutauschen.

Eine offene BIM-Insel bietet das Szenario von **little open BIM** innerhalb eines Gewerks. Dabei tauscht der Anwender seine Daten mit anderen Projektbeteiligten über offene und herstellerneutrale Formate wie IFC aus.

Der Ansatz mittels **BIG closed BIM** versteht sich als eine geschlossene BIM-Integration, in der unterschiedliche Anwender verschiedener Disziplinen ihre Modelle mit proprietären Schnittstellen austauschen.

Bei der BIM-Methode **BIG open BIM** können unterschiedliche Fachdisziplinen an beliebigen Softwarelösungen planen, da neutrale Austauschformate wie IFC verwendet werden.

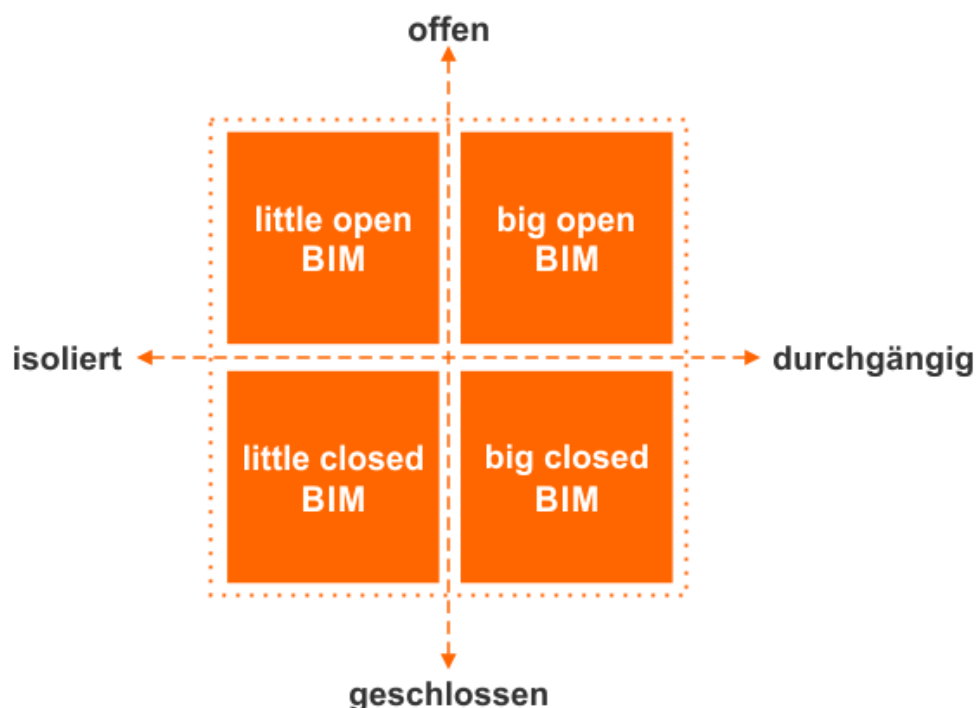


Abb. 3.18 Unterscheidung der BIM-Methoden anhand von Durchgängigkeit und Offenheit in Anlehnung an [25]

Zuletzt soll noch der Unterschied zwischen dem vertikalen und horizontalen Datenaustausch erklärt werden. [29]

Wird ein Datenaustausch zwischen Programmanwendungen gleicher Art vollzogen, dann wird von einem **horizontalen Datenaustausch** gesprochen. Hierbei handelt es sich um die gleichen Objekte und deren Informationsgehalt wird in beiden Programmen somit sehr ähnlich sein. Beispielsweise geben Statiker ihre Ergebnisse aus ihrem

Statikprogramm weiter an ihre Bemessungsprogramme, wo einzelne Details wie Anschlüsse und Befestigungen nachgewiesen werden. Alternativ findet auch ein horizontaler Datentransfer statt, wenn Statiker mit Prüfsingenieuren zusammenarbeiten und ihre Statikmodelle austauschen.

Der Austausch zwischen Architekten und Ingenieuren ist meistens ein **vertikaler Datenaustausch**. Hier werden die Daten von einer Fachplanung zur anderen übergeben, beispielsweise von einer Architektursoftware in die Statikanwendung. Der Fokus liegt anschließend auf einer anderen Sicht der Daten (nur tragende Bauteile, wie Stützen, Wände, Träger, Decken). Allerdings fehlen noch notwendige Informationen wie die Lage der statischen Wirklinie, die Nachgiebigkeit der Elementverbindungen oder genaue mechanische Angaben zu Material und Querschnitten. Insgesamt ist die Fehleranfälligkeit bei einem vertikalen Datenaustausch größer als bei einem horizontalen Datenaustausch.

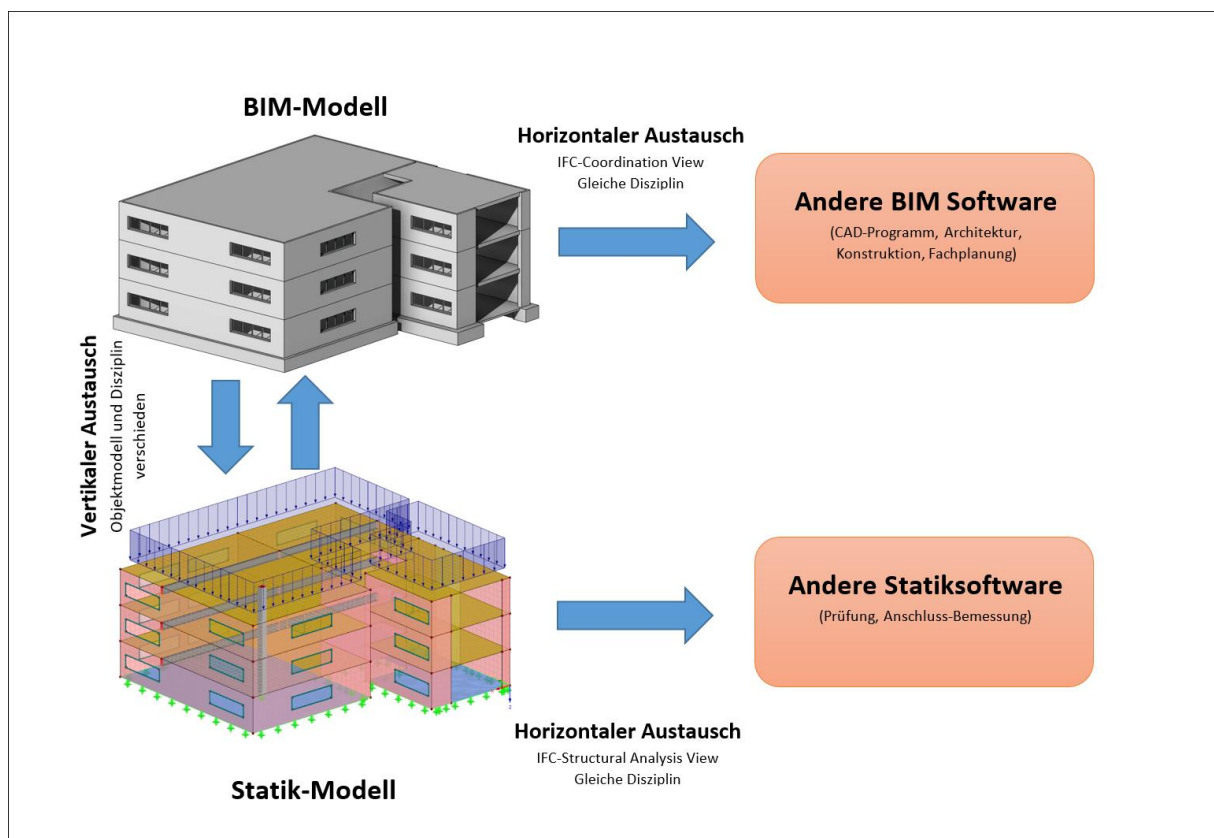


Abb. 3.19 Horizontaler und vertikaler Datenaustausch [29]

### 3.4 Statische Berechnung im BIM-Prozess

Während die vorherigen drei Abschnitte allgemeine Arbeitsabläufe in einer BIM-basierten Tragwerksplanung behandeln, liegt der Schwerpunkt in diesem Kapitel auf der Durchführung statischer Berechnungen. Grundsätzlich hat der Tragwerksplaner bezüglich seines allgemeinen internen Workflows in der statischen Tragwerksanalyse und der Wahl der Programme freie Hand. Er kann entscheiden, welche Berechnungs- und Bemessungsmethoden für die Genehmigungsstatik herangezogen werden. Die Planungsprozesse der Tragwerksanalyse lassen sich somit deutlich unabhängiger von der BIM-Arbeitsweise gestalten. Aufgrund der fachspezifischen Modelle ist es den Ingenieuren überlassen, ob sie sich für eine reine 3D-Gesamtstatik, eine klassische 2D-Positionsstatik oder eine Kombination aus beidem entscheiden. Der Ablauf der statischen Berechnung bleibt daher im Wesentlichen gleich, nur das Werkzeug zur Informationsentnahme und eine engere Abstimmung mit den Projektpartnern ändert die bisherige Arbeitsweise der Statiker. [21]

Nachfolgend wird auf die wichtigsten zu berücksichtigenden Effekte einer BIM-orientierten Tragwerksberechnung eingegangen. Dabei geht es vorwiegend um automatisierte und teils automatisch erstellte dreidimensionale Analysemodelle, die bereits in einigen CAD-Programmen erstellt werden können und anschließend an die Statikprogramme übergeben werden.

#### 3.4.1 3D-Gebäudemodelle in der Baustatik

Im Zuge einer BIM-basierten Planung besteht häufig die Auffassung, dass bei vorhandenen 3D-Modellen auch die statische Berechnung am 3D-Modell durchgeführt wird. Es obliegt allerdings dem Tragwerksplaner, sich für eine zwei- oder dreidimensionale statische Berechnung zu entscheiden. Die Statik am 3D-Gesamtmodell ist in der Fachwelt nicht ganz unumstritten und deshalb auch mit Vorsicht zu genießen. In Kürze wird auf die entscheidenden Merkmale einer 3D-Berechnung eingegangen und anschließend werden 2D- und 3D-Berechnungen hinsichtlich ihrer Anwendungsbereiche, Vor- und Nachteile gegenübergestellt.

## **Einfluss des Bauablaufs auf den vertikalen Lastabtrag**

Laut Kepplin [30], Bischoff [31] und Rombach [32] kommt es bei einer linear-elastischen Berechnung an einem Gesamtmodell zu erheblichen Unterschieden verglichen mit den Ergebnissen einer konventionellen 2D-Berechnung. Die Ursache liegt am Verformungsausgleich im Baufortschritt, der bei 3D-Berechnungsmodellen abgebildet wird, während die damit einhergehende Umlagerung bei einer Berechnung mit extrahierten 2D-Teilmodellen vernachlässigt wird. Daher hängt das Tragverhalten in starkem Maße von den Steifigkeitsverhältnissen der lastabtragenden Bauteile ab. [33] [34]

Der Bauablauf hat dabei einen großen Einfluss auf die Verschiebungen und folglich auch auf die Schnittgrößen im Tragwerk. So werden 3D-Gesamtmodelle oftmals als **Eingusssystem** berechnet, unter der Annahme, dass das Statikmodell in einem Zug modelliert und nur mit einem Eigengewichtslastfall belastet wird. In Wirklichkeit wird allerdings während der einzelnen Bauphasen jedes neue Stockwerk neu eingemessen. Das Eigengewicht wirkt dabei von Anfang an und die zuvor eingetretenen elastischen Verkürzungen werden immer wieder ausgeglichen. Bei einem mehrgeschossigen Gebäude erhalten beispielsweise weiche Bauteile wie Stützen eine relativ große Stauchung in Abhängigkeit der Vertikalbelastung. Durch das Zusammendrücken der Stützen aus dem Gebäudegewicht entziehen sie sich der Last und lagern sie auf steifere Bauteile wie Wände und Aussteifungskerne um. Das führt insgesamt zu einer Unterschätzung der Stützenlasten bei einer starren Lagerung der Gründung. [31] [34] [35]

Dagegen überschätzt das **2D-Lastweiterleitungsmodell** die Steifigkeit der Stützen, weil nahezu keine elastischen Verformungen berücksichtigt werden. Daher liegt das konservative 2D-Lastweiterleitungsverfahren für hochbeanspruchte Bauteile meist auf der sicheren Seite, zumal tragende Stützen bezüglich ihres Versagensrisikos besonders kritisch zu beurteilen sind.

Deutlich bessere Ergebnisse werden durch die **Berücksichtigung von Baufortschrittsmodellen** erreicht. Diese sind zwar aufwendiger in ihrer Erstellung, erreichen aber eine höhere Genauigkeit hinsichtlich der realen Abbildung des Bauablaufes. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Computer-Programme Möglichkeiten zur Berechnung von verschiedenen Bauzuständen anbieten. In den vergangenen 2000ern konnten viele Statikprogramme noch keine entsprechenden Lösungen anbieten, sodass in vielen Literaturen wie [32] [34] [37] zurecht auf die Vernunft des Ingenieurverstands



hingewiesen wurde. Denn 3D-Berechnungsmodelle sollten immer kritisch auf Plausibilität und ihre Vollständigkeit überprüft werden.

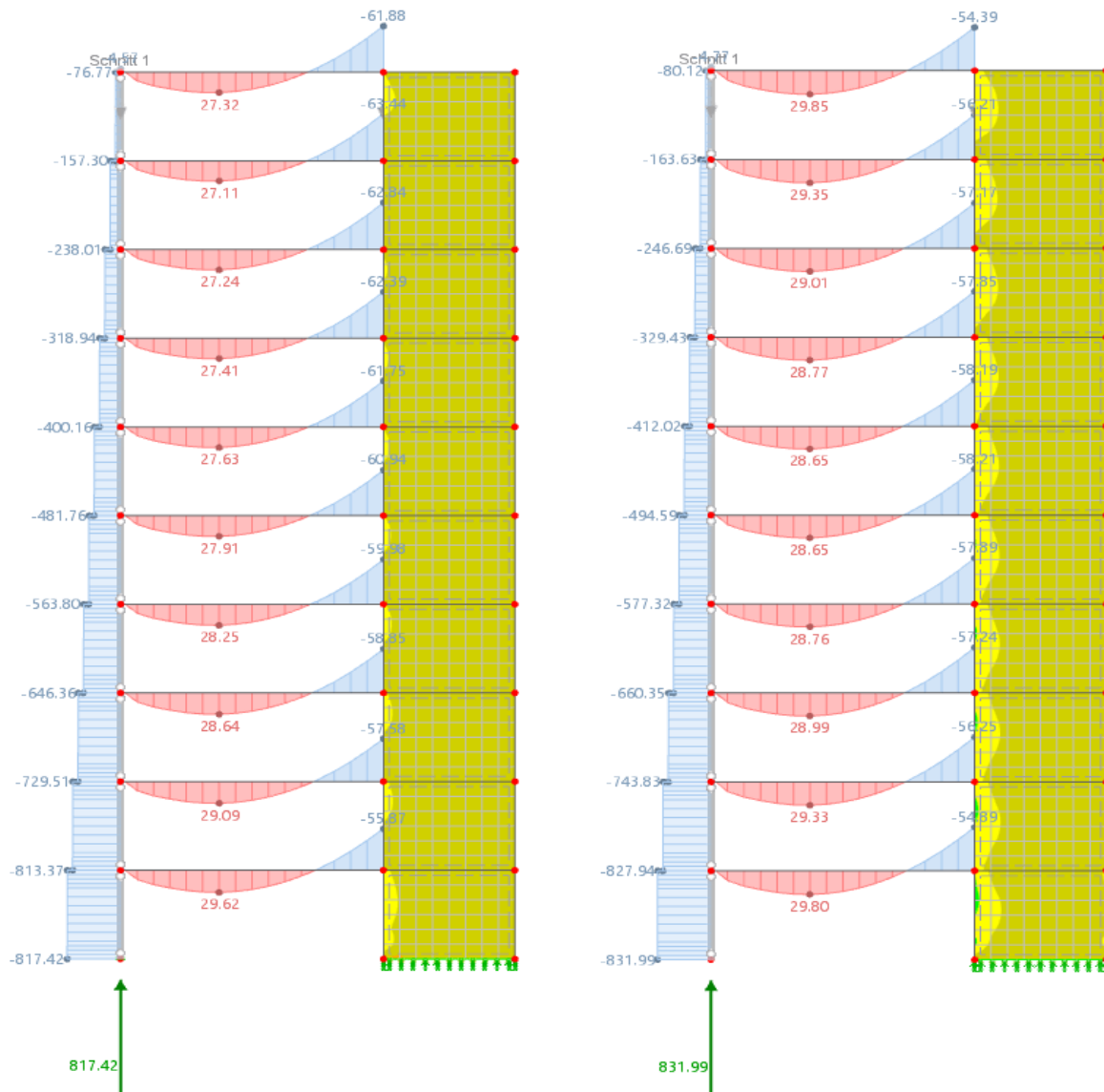


Abb. 3.20 Beispielhaftes Tragwerk zur Berücksichtigung von Einguss- und Baufortschrittsmodellen unter Eigen- und Fremdlast in RFEM 6 (links: Eingussmodell; rechts: Baufortschrittsmodell) [84]

## Boden-Bauwerk-Interaktion

Die Ausbildung der Bodensteifigkeit kann einen erheblichen Einfluss auf die Schnittgrößen haben. Grundsätzlich kann hier zwischen starren und nachgiebigen Lagerungen unterschieden werden. Um nachgiebige Bodenmodelle nun besser darstellen zu können, werden in der Praxis meist das **Bettungsmodulverfahren** oder das **Stiefemodulverfahren** eingesetzt. Ein übliches Vorgehen beim Bettungsmodulverfahren ist die Erhöhung der Steifigkeit des Bodens in Randbereichen. Dagegen setzt das Stiefemodulverfahren die Mitwirkung des Bodens implizit über die Schubsteifigkeit in der

räumlichen Ausdehnung des Baugrunds unterhalb des Baukörpers an. Das bildet die Setzungsmulde und die Steifigkeitsverhältnisse genauer ab.

Bei der Frage, wie nun mit der Situation der Boden-Bauwerk-Interaktion umzugehen ist, gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Als Empfehlung weist Rombach [32] auf die notwendige Grenzwertbetrachtung hin, um mögliche Streuungen der Bodenparameter abzudecken. Dagegen raten Fastabend et al. [34] zu einer integrierten Bodenmodellierung unter der Bedingung einer engen Kooperation mit dem Baugrundgutachter. [30]

Weitere Effekte wie **Kriechen** und **Schwinden**, **Anschlusssteifigkeiten bei Stützen**, **Kopplungen von Stab- und Flächenelementen**, **Steifigkeitsreduzierungen von Decken infolge von Rissbildungen** und **nichtlineare Berechnungen** können ebenfalls berücksichtigt werden. Jedoch sollte dieser zusätzliche Mehraufwand in der statischen Berechnung auch im Einklang mit einer wirtschaftlichen Tragwerksplanung stehen und nicht nur zu einer Bewehrungseinsparung von 2 cm<sup>2</sup> führen.

### **Sinnvolle Anwendungsfälle zur Verwendung von Gesamtmodellen**

Die Komplexität der Tragwerke nimmt immer weiter zu und mithilfe moderner Computertechnologie lassen sich ganzheitliche Gebäudemodelle schnell und wirtschaftlich berechnen. Hier führt oftmals kein Weg an einer 3D-Berechnung vorbei, vor allem wenn ein räumliches Tragverhalten vorliegt und sich das Tragwerk nur schwer in Teilmodelle zerlegen lässt. Die Vorzüge von 3D-Planungen weiß der Stahl- und Brückenbau schon lange zu schätzen und hat sich längst zum Stand der Technik entwickelt. Für Massivbauwerke sind laut [38] und [39] ganzheitliche 3D-Gesamtmodelle in vielen Fällen auch sehr hilfreich und sinnvoll. Folgende Beispiele verdeutlichen dies:

- **Geometrisch komplexe Strukturen:** Viele anspruchsvolle, frei geformte Tragwerke wie zum Beispiel Schalen- und Membranbauten können nur mithilfe von 3D-Modellen berechnet werden. Dieser Umstand ist insbesondere der unklaren und schwer kontrollierbaren Lastabtragung geschuldet.
- **Stabilitätsanalysen:** Das Erkennen von lokalen Instabilitäten und globalen Stabilitätsversagen wird durch 3D-Modelle vereinfacht, da alle räumlichen Effekte berücksichtigt werden können.
- **Dynamische Berechnungen:** Hauptsächlich bei Erdbebenberechnungen treten räumliche Eigenformen auf, die durch 3D-Modelle gut dargestellt werden können.

- **Windsimulationen:** Zur numerischen Simulation von Windströmungen und deren Ermittlung von Windlasten bieten sich geschlossene 3D-Gesamtmodelle sehr gut an.
- **Parameterstudien an räumlichen Strukturen:** 3D-Modelle eignen sich besonders gut für Optimierungen und Variantenuntersuchungen.

### **Empfehlungen für einen Austausch von 3D-Modellen**

Die Übergabe von 3D-Gesamtmodellen an die Statikprogramme ist häufig nicht zielführend. Eine unübersichtliche Darstellung sowie eine schwierig nachvollziehbare Prüfbarkeit der Struktur führen nicht selten zu Fehlern und Problemen in den statischen Berechnungen. Daher ist es empfehlenswert, das 3D-Modell in geschossweise Submodelle aufzuteilen oder 2D-Elemente eines 3D-Modells herauszulösen. Viele BIM-Programme wie Revit und Tekla Structures unterstützen einen automatisierten Export von Teilmodellen. Teilmodelle mittels IFC-Schnittstelle können ebenfalls in den meisten Softwareapplikationen exportiert werden. [36]

Als Zusammenfassung werden abschließend nochmal die Vor- und Nachteile von 2D- und 3D-Berechnungen in untenstehender Abbildung gegenübergestellt.

2D-Berechnung	3D-Berechnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Positionsweiser Lastabtrag</li> <li>▪ Deckenbemessung möglich</li> <li>▪ Maßgebend für Stützenbemessung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Räumliche Stabilität</li> <li>▪ Dynamische Analysen und Erdbebenberechnungen</li> <li>▪ Berücksichtigung von Bauzuständen</li> <li>▪ Nichtlineare Effekte</li> <li>▪ Maßgebend für Wandbemessung</li> </ul>
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Änderungen müssen in jeder Ebene neu eingepflegt werden</li> <li>▪ Lastweiterleitung/Abfangungen müssen manuell berücksichtigt werden</li> <li>▪ 3D-Effekte wie Torsion kann nicht berücksichtigt werden</li> <li>▪ Schwere Erfassung der Randbedingungen bei Teil- und Submodellen</li> <li>▪ Meistens auf der unwirtschaftlicheren Seite liegend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unübersichtlichkeit steigt mit der Größe des Modells</li> <li>▪ Aufwendige Dokumentation prüffähiger Ergebnisse</li> <li>▪ Große Datenmengen erschweren die Kontrolle der Ergebnisse</li> <li>▪ Nur durch Vergleichsrechnungen prüfbar</li> <li>▪ Hoher Modellier- und Rechenaufwand</li> <li>▪ Steifigkeitsunterschiede können zu unrealistischen Lastumlagerungen führen</li> </ul>
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewährtes ingenieurmäßiges Verfahren</li> <li>▪ Übersichtliche und prüfbare Ausgabe</li> <li>▪ Gut skalierbar auf mehrere Mitarbeiter</li> <li>▪ Leichtere Beurteilung der Ergebnisse</li> <li>▪ Weniger Rechenaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bessere Erfassung von Steifigkeitsverhältnissen bei komplizierten Tragwerksgeometrien</li> <li>▪ Realitätsnahe Abbildung des Kraftflusses bei komplexen Tragstrukturen</li> <li>▪ Erkennen von lokalen Schwachstellen</li> <li>▪ Schnellere und Wirtschaftlichere Berechnung und Bemessung</li> <li>▪ Schnelle Änderungen und Anpassungen</li> <li>▪ Durchführung von Optimierungen</li> </ul>

Abb. 3.21 Vor- und Nachteile von 2D- und 3D-Berechnungen in Anlehnung an [40]

### 3.4.2 Konflikte bei der Modellierung und Detaillierung des Analysemodells

Bemerkenswert bei mitgeführten Analysemodellen in CAD-Programmen ist oftmals die Qualität der Modellierung und Detaillierung. Das analytische Modell wird aus dem Tragwerksmodell abgeleitet und dient den Tragwerksplanern später als Grundlage für die Erstellung ihrer Berechnungsmodelle. Bei der Umwandlung von physischen Strukturmodellen zu idealisierten Analysemodellen kommt es aufgrund der unterschiedlichen Geometriebeschreibungen und der Vereinfachung des Statikmodells oftmals zu Schwierigkeiten, die im Nachfolgenden genauer vorgestellt werden. [30]

#### Geometrische Vereinfachungen von FE-Modellen

Ingenieure bedienen sich bei der Erstellung von Berechnungsmodellen einfachen Idealisierungen und durchlaufen dabei einen Komplex von mechanischen Annahmen und speziellen Modellbildungsfragen. Das gilt vor allem für die verschiedenen gesprochenen Sprachen bei den CAD- und Statikprogrammen. Statikmodelle sind in der Regel so aufgebaut, dass sich die statischen Systeme auf die jeweiligen Bauteilachsen beziehen. So werden Plattenaußenkanten auf die Wandmitte gelegt und Lagerpunkte, Auflagerlinien, Öffnungen usw. den Systemlinien angepasst. [17]

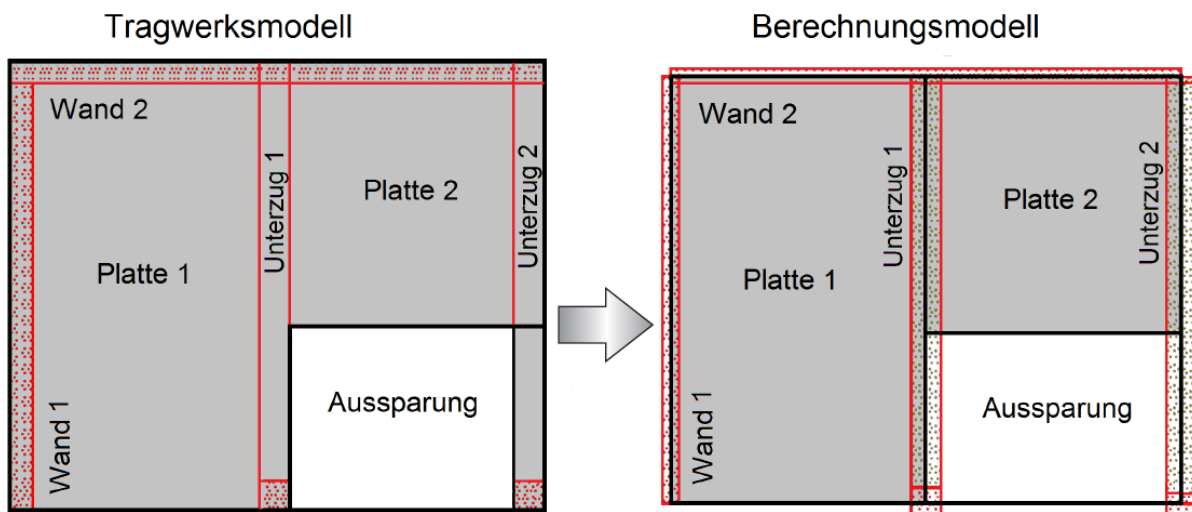


Abb. 3.22 Beispiel für den Bezug auf Systemlinien [17]

Auch Versätze von Wänden und Decken sollten angeglichen werden, sodass keine ungünstigen Problemstellen, in dem Fall Singularitäten, auftreten und sich negativ auf die Genauigkeit der Ergebnisse auswirken. Wenn möglich, sollte das Analysemodell in der jeweiligen Autorensoftware dahingehend konsistent und bei Abweichung gegebenenfalls korrigiert werden. [17]

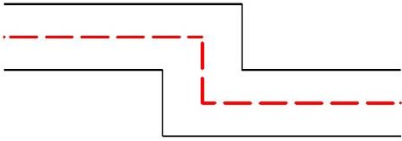
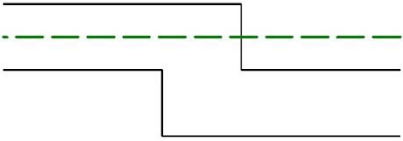
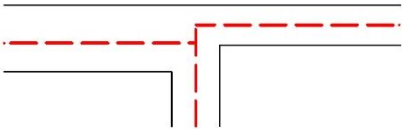
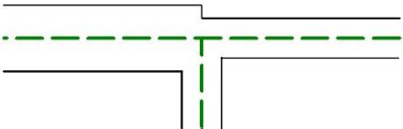
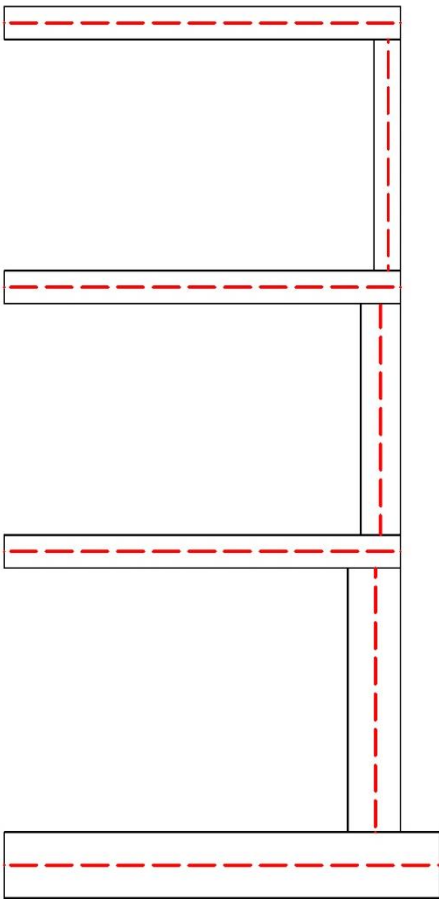
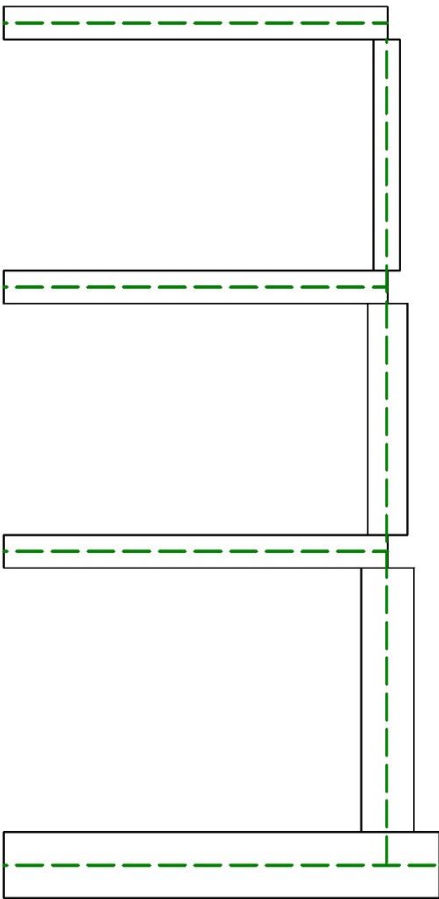
	Tragwerksgeometrie	Analytisches Berechnungsmodell
Decken- versatz		
Wand- versatz		
Wand- Decken- versatz		

Abb. 3.23 Bauteilversätze von der Tragwerksgeometrie (links) zum Berechnungsmodell (rechts) [84]

## Vouten

Die Systemlinienbestimmung gestaltet sich bei Vouten besonders schwierig, da hier die Lage der Stabachsen nicht eindeutig definiert werden kann, zumal bei veränderlichen Trägerhöhen die Schwerelinie auch geneigt sein kann. Dabei sind mehrere Varianten statischer Systeme möglich, die sachkundige Ingenieure durch ihre Praxiserfahrungen lösen. Die unterstehende Grafik verdeutlicht das Beispiel. Je nach Größe der Normalkraft kann die Systemlinie bei vernachlässigbar kleinen Normalkräften vereinfachend durchgeführt werden oder bei nicht vernachlässigbaren Normalkräften die genaue Stabachsenlage ermittelt werden. [100]

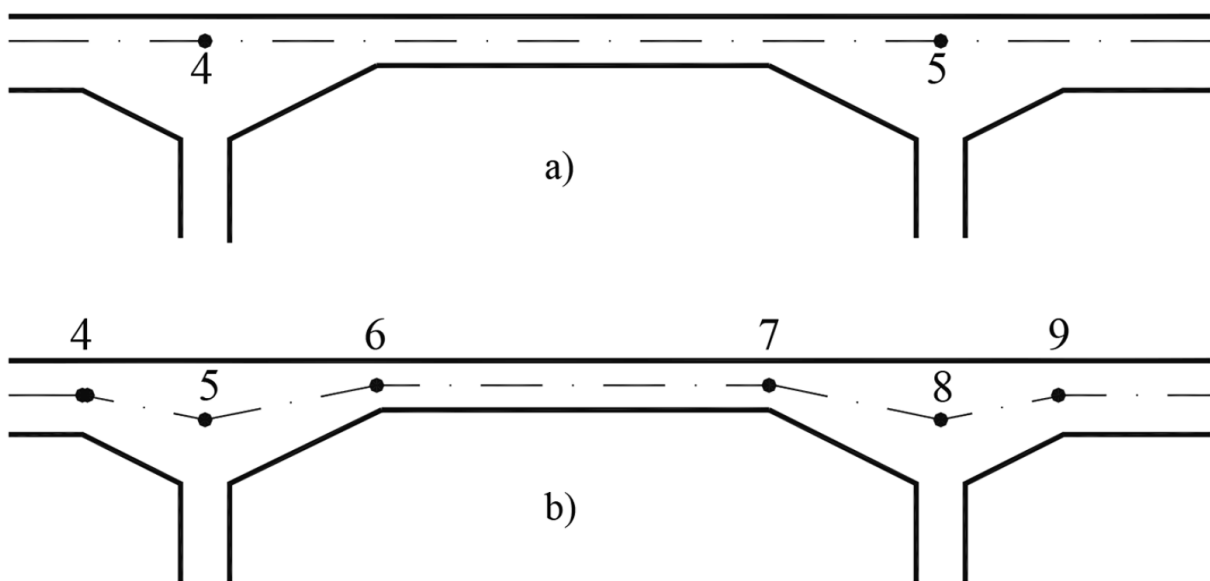


Abb. 3.24 Unterschiedliche Diskretisierungsmodelle einer Voute [30]

## Öffnungen

Wenn **randnahe Öffnungen** in Wänden unmittelbar an Querwände und Decken angrenzen, kann dies im analytischen Modell zu ungewollten schmalen Strukturflächen entsprechend einer halben Wand- bzw. Deckenbreite führen. Folglich müsste im Berechnungsprogramm eine Optimierung des FE-Netzes vorgenommen werden, da ansonsten die Ergebnisse an der Stelle zu ungenau sind. Ziel der Planer ist es somit, dass das Analysemodell im jeweiligen CAD-BIM-Programm bereinigt und für die Erstellung eines FE-Modells angepasst wird. Weiterhin sollten **kleine Durchbrüche**, die nicht relevant für die Tragwerksanalyse sind, aus dem analytischen Modell entfernt werden, um für eine gute Qualität des FE-Netzes im Statikprogramm zu sorgen. [30] [36]



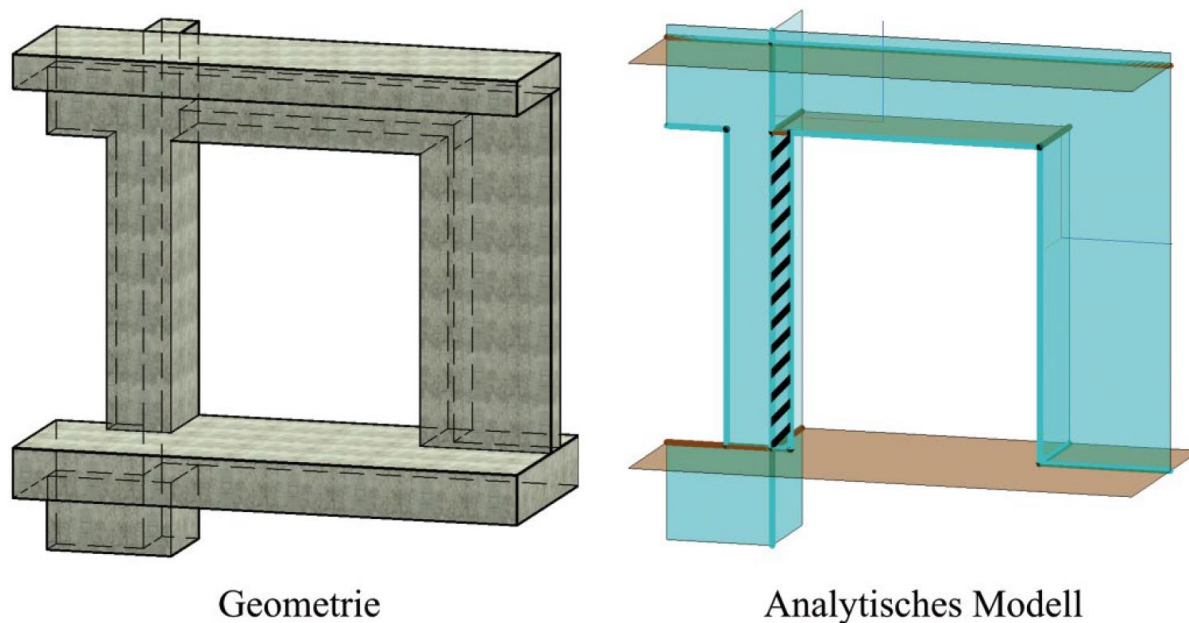


Abb. 3.25 Randnahe Wandöffnung [30]

### Exzentrizitäten

Exzentrizitäten können Tragwerke realistischer abbilden, wirken sich jedoch auf die Berechnung von Verformungen und Schnittgrößen aus. Daher werden sie meist in den BIM-Programmen zur Vereinfachung vernachlässigt.

### Empfehlung für die Zusammenarbeit zwischen Architekten und Statikern

Bei einem Datenaustausch **mittels direkter Schnittstellen** ist es von elementarer Bedeutung, dass die Qualität des Analysemodells im CAD-Programm den Ansprüchen der Ingenieure genügt. Eine Frage, die sich dabei oft stellt, ist, wer die Verantwortlichkeit des Analysemodells, das beim Erstellen des Architekturmodells durch den Objektplaner entsteht, übernimmt. Diese Fachplaner haben oftmals nur wenig Kenntnisse über einen richtigen Aufbau eines Analysemodells. Aus diesem Grund ist das frühe Einbinden des Tragwerksplaners unabdingbar, denn so können etwaige Unklarheiten geklärt und das Analysemodell genauestens überprüft werden. Das Modell muss anschließend an die Bedürfnisse der Tragwerksplanung angepasst werden. Alternativ müssen bei einem Austausch mit **offenen Dateiformaten** wie IFC gewisse Nachbearbeitungen zur Verbesserung des Statikmodells entweder im BIM-Autorenprogramm oder direkt in den Statikprogrammen unternommen werden.

### 3.4.3 Material- und Querschnittsmapping

In der Regel besitzen CAD- und Statikprogramme unterschiedliche Bibliotheken für die Bezeichnung von Materialien, Profilen und Querschnitten. Während die Priorität bei BIM-Software auf Architektur, Mengenermittlung und Visualisierung liegt, sind statische Parameter für Materialien und Querschnitte wie E-Modul, Trägheitsmomente oder Sicherheitsbeiwerte weniger von Bedeutung. Die Berechnungsprogramme brauchen diese Informationen allerdings für ihre erforderlichen Nachweise und haben daher eigene Datenbanken. Dies ist auch der Hauptgrund, warum CAD- und Statikprogramme keine gemeinsamen Bibliotheken bei Materialien und Querschnitten verwenden. [41]

Umso wichtiger ist es, über eine eindeutige Zuordnung durch sogenannte Mapping-Tabellen einen reibungslosen Datenaustausch zu ermöglichen. So werden die Materialien und Querschnitte mittels Mapping-Tabellen von den Import-Daten der BIM-Software in die Daten der Statiksoftware übersetzt. Diese Konvertierung sollte insoweit auch anpassungsfähig sein als dass auch bei kleinen Änderungen der Profilreihen sowie der Definition freier Abmessungen für definierte Querschnittsgrundformen (beliebiger Rechteck-, I-, oder U-Querschnitt) das Parametermapping einwandfrei funktioniert. [41]

### 3.4.4 Lokale statische Einzel- und Detailnachweise

Tragwerksplaner arbeiten für gewöhnlich mit mehreren Statikprogrammen. Hierbei wird zwischen den **klassischen 3D-FEM-Berechnungsprogrammen** und den **Bemessungs- bzw. Nachweismodulen** unterschieden. Erstere können für den Austausch von Statikmodellen verwendet werden und eignen sich vorwiegend für die Berechnung von Schnittgrößen und die Bemessung von Bauteilen. Müssen komplizierte Stellen im Tragwerk nachgewiesen werden, so wird oft auf Bemessungstools zurückgegriffen, die sich für diese Fälle gezielter einsetzen lassen. Solche Detailnachweise werden daher nicht am Gesamtmodell des 3D-FEM-Programms durchgeführt, sondern als interner Prozess der Tragwerksplanung abgewickelt, meist auch unter Zuhilfenahme von nicht BIM-fähigen Programmen und ohne Verwendung von BIM-Modellen. Als Beispiel sind hier eigens aufgestellte statische Nachweise in Excel zu nennen. Eine Ausnahme bildet jedoch die Weitergabe von Bemessungsschnittgrößen aus den FEM-Programmen wie RFEM an Bemessungsprogramme wie IDEA StatiCa oder Herstellerprogramme wie Hilti PROFIS Engineering, um Stahlanschlüsse oder Befestigungen

zu dimensionieren. Dieser Austausch kann auch als horizontaler Datenaustausch interpretiert werden, auf den im Kapitel 3.3.5 bereits genauer eingegangen wurde.

Im Zusammenhang mit den Möglichkeiten der Gebäudevisualisierung sind dem Analyse- und Berechnungsmodell hinsichtlich ihrer Detaillierung Grenzen gesetzt. Ziel einer FE-Modellierung ist es dabei immer, eine realitätsnahe mechanische Abbildung des Tragverhaltens abzubilden.

Im Hinblick auf den Stahlbetonbau sind insbesondere Bauteilübergänge betroffen, die aufgrund von Versätzen oder Exzentrizitäten einem Diskontinuitätsbereich (D-Bereich) zuzuordnen sind. **Diskontinuitätsbereiche** sind Bereiche, in welchen kein linearer Dehnungsverlauf über die Balkenhöhe vorliegt. Hier gilt nicht mehr die Bernoulli-Theorie zur Berechnung von Stabtragwerken und das jeweilige Balkenelement liefert unzutreffende Ergebnisse. In räumlichen Tragwerksstrukturen können Diskontinuitätsbereiche überwiegend nur vereinfacht abgebildet werden. Daher müssen insbesondere Stützen mit Konsolen, Rahmenecken, Balken mit großen Öffnungen, Ausklinkungen und wandartige Träger gesondert betrachtet und separat nachgewiesen werden. Der korrekten FE-Modellierung wird dabei eine große Bedeutung zugeschrieben. [30]

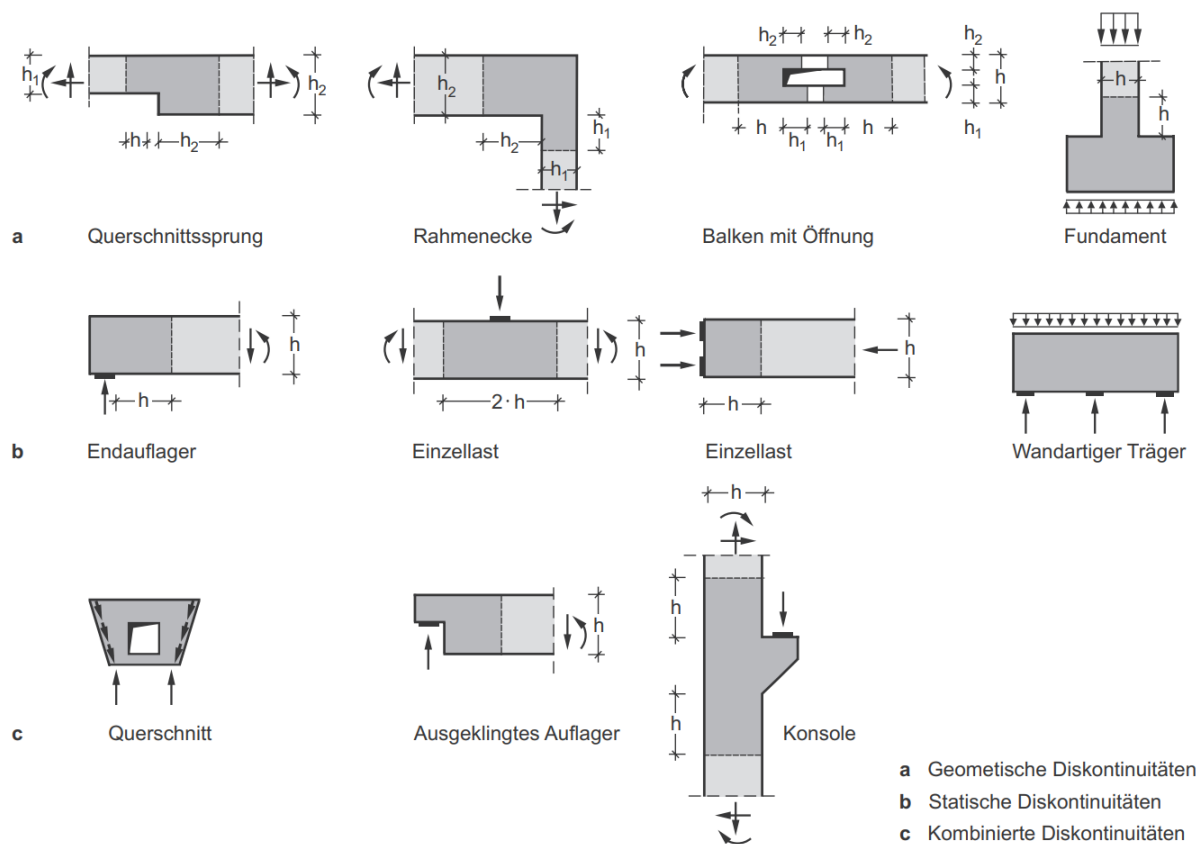


Abb. 3.26 Beispiel für Diskontinuitätsbereiche in Tragwerken [42]

### 3.5 Weitere Herausforderungen und Schwierigkeiten

Der BIM-basierte Planungsprozess ist auf einem guten Weg, in der Gesellschaft der Projektbeteiligten Anklang zu finden. Trotzdem könnte die Geschwindigkeit der umgesetzten BIM-Projekte schneller voranschreiten. Hindernisse seitens menschlicher als auch technischer Sicht führen zu großen Herausforderungen, die zukünftig geklärt und gelöst werden müssen. Auch die BIM-orientierte Tragwerksplanung hat mit Schwierigkeiten bei der Durchführung ihrer Aufgaben zu kämpfen.

#### **HOAI – Abrechnung der Mehrwertleistung in einer BIM-orientierten Planung**

Wie im Kapitel 3.2.2 schon erwähnt, ist das frühe Einbinden des Tragwerksplaners in die Entwurfsphase von enormer Bedeutung. So werden anfangs tragwerksspezifische Fragen geklärt und Hinweise auf das Analysemodell gegeben. Diese Verlagerung des Aufwandes kann in der aktuellen HOAI allerdings nur schwer bis gar nicht berücksichtigt werden. Außerdem ist es im Hinblick auf die Vergütung schwierig einzuschätzen, wie diese in den jeweiligen Leistungsphasen berechnet wird. Das hängt oftmals von den gewünschten Szenarien der Kunden beziehungsweise Bauherren ab. Erschwerend kommt hinzu, dass in einigen Fällen der Bauherr so tief in die Arbeitsweise des Planenden eingreift und die Software vorgibt oder die Bereitstellung von allen Berechnungs- und Bemessungsmodellen verlangt. Weiterhin besteht für die Planer das Risiko, dass bereits erbrachte Leistungen, die gemäß dem Leistungsbild der HOAI erst viel später im Planungsprozess entstehen würden, nicht vergütet werden, wenn der Planer nicht weiter beauftragt wird. [14]

Damit die Anforderungen klar definiert werden können und der Bauherr genau weiß, was für Leistungen erfüllt werden müssen, gibt es die Auftraggeber-Informations-Anforderungen. Sie dienen einer zielgerichteten Honorarfindung und entschärfen die Situation der ungewissen Vergütungssätze im Rahmen der Leistungsbilder. Diese bilden abschließend die Grundlage zur Honorargestaltung. So empfiehlt es sich unter anderem auch, diese mit dem Auftraggeber gemeinsam zu erarbeiten. Denn nicht die BIM-Systematik schreibt vor, welche Leistungen und Informationen gefordert sind, sondern der Bauherr. [43]

#### **Qualität der Analysemodelle**

Eine der größten Herausforderungen in der Benutzung von Statikmodellen ist deren vorherige Umwandlung von Architektur- zu Analyse- bzw. Berechnungsmodellen. In einigen Programmen werden Analysemodelle mitgeführt, sodass die Anwender über

eine gute Kontrolle verfügen und vor dem Export die Qualität des Analysemodells bewerten können. Bei einfachen Tragwerken gelingt der Aufbau eines Analysemodells meist problemlos, während bei kritischen Details manuelle Nachbearbeitungen vorgenommen werden müssen. Im Gegensatz zu den direkten Schnittstellen und den integrierten Analysemodellen ist der IFC-Datenaustausch von statischen Tragwerksinformationen bei weitem schwieriger. Die importierten Statikmodelle in den Berechnungsprogrammen sind meistens nicht fehlerfrei und Bauteile oftmals nicht verbunden. Daraus ergibt sich des Öfteren ein unzufriedenstellender Datenaustausch, weil die Modelle erst nach vielen manuellen Anpassungen und Ergänzungen für die statischen Berechnungen ausreichen.

### **Funktionalität der Schnittstellen**

Nur wenige CAD-Programme wie Revit, Tekla Structures oder Archicad bieten ein internes Analysemodell an. Bei anderen Autorenprogrammen muss auf anderweitige Schnittstellen zurückgegriffen werden, um Modelle austauschen zu können. Dies funktioniert nicht immer reibungslos, da viele Planer verschiedene Computerprogramme benutzen und häufig nicht über die Schnittstellenfunktionalität ihrer Tools Bescheid wissen. So gilt es für alle Anwender, sich ausreichend über die BIM-Kompatibilität der verwendeten Softwareprodukte zu informieren und gegebenenfalls auf andere Tools umzusteigen. Die Implementierung in den jeweiligen Programmen ist oft unterschiedlich und kann daher zu Komplikationen hinsichtlich des Datenaustausches führen.

### **3.6 Weitere Chancen und Möglichkeiten**

Durch die Arbeitsmethode BIM ergeben sich für die Ingenieure neue Möglichkeiten, ihre Arbeitsprozesse in der Tragwerksplanung zu optimieren. Sie profitieren dabei von der Weiterverwendung eines dreidimensionalen Gebäudemodells, das weiter für statische Berechnungen genutzt werden kann. Die daraus entstehenden Vorteile werden nun durch folgende Beispiele erläutert.

#### **Closed BIM funktioniert bereits sehr gut**

In einem Closed BIM-Szenario ist die Verwendung direkter Schnittstellen zwischen den CAD- und Statikprogrammen sehr gut ausgebaut. Viele Planer schätzen die direkte Kopplung der Softwaretools und sehen darin einen schnellen, meist fehlerfreien und effektiven Datenaustausch. Positiv ist auch die erreichte Zeitersparnis, weil die Geometrie nicht mehr neu erfasst werden muss. Darüber hinaus ist die Qualität der

Austauschmodelle bei einfachen Gebäuden gut genug für die anschließenden Weiterbearbeitungen, sodass der Aufwand für Nachbearbeitungen und Korrekturen meistens gering ausfällt.

### Verbesserung der Ausführungsplanung

Dank der direkten Nutzung aus dem geometrischen Tragwerksmodell können die Ingenieure und Konstrukteure eine genaue Massenermittlung durchführen. In Verbindung mit den Ausführungsplänen ergeben sich für Schalpläne und Bewehrungspläne weitere Vorteile. So können für Schalpläne Ansichten, Schnitte und 3D-Ansichten aus dem geometrischen Datenmodell erzeugt werden. Dabei ist die ständige Aktualität besonders wertvoll, vor allem wenn Änderungen am Gesamtmodell vorgenommen werden und die Pläne dementsprechend immer den aktuellen Planungsstand wiedergeben. Unter Zuhilfenahme von Computerprogrammen lassen sich mittlerweile automatisch Bewehrungspläne in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse erstellen. 3D-Darstellungen tragen dazu bei, dass gerade schwierige und komplizierte Detailpunkte besser betrachtet werden können. Aus den Bewehrungsmodellen lassen sich anschließend 2D-Pläne sowie Stahl- und Biegelisten ableiten, die für die ausführenden Firmen an den Baustellen gebraucht werden. [10]

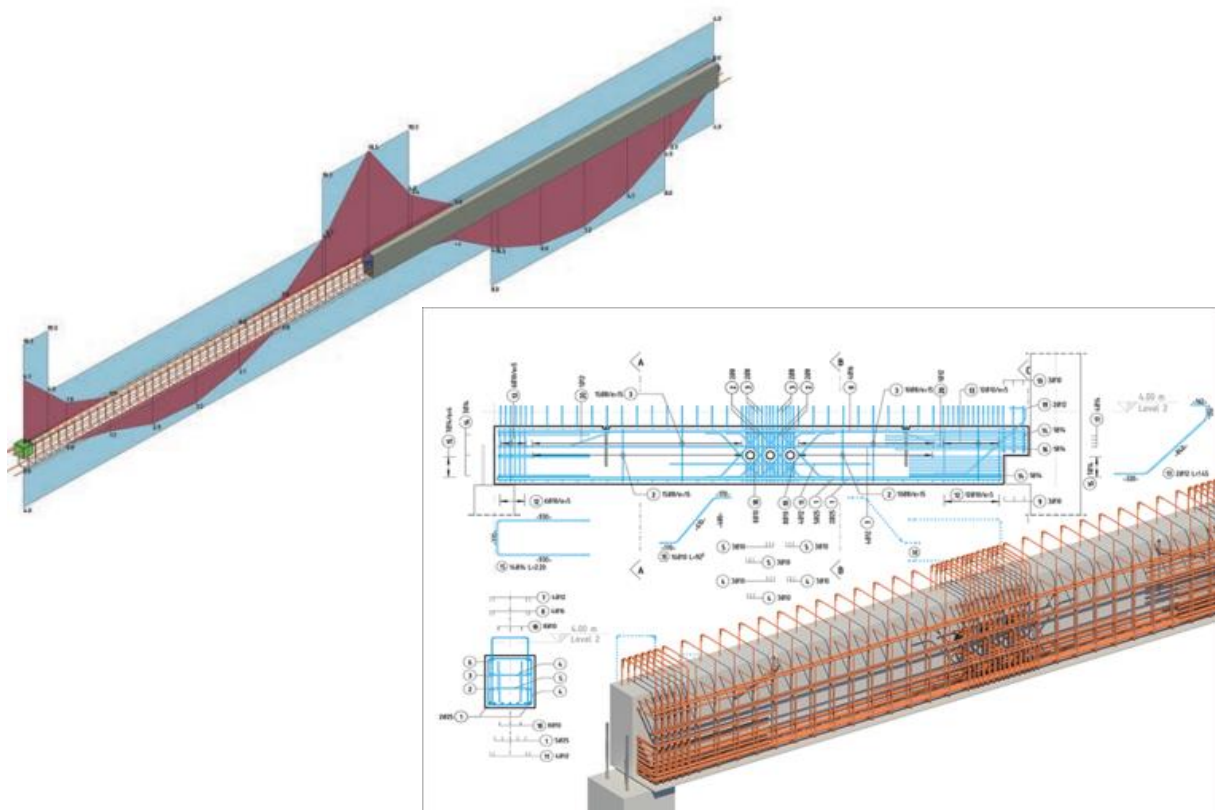


Abb. 3.27 Gegenüberstellung erforderliche und eingelegte Bewehrung in Revit sowie automatische generierter Bewehrungsplan mit 3D-Visualisierung [34]



## **Konsistente und vollständige Statikmodelle**

Ein weiterer Vorteil, der sich für Tragwerksplaner durch die Teilnahme an einem BIM-Prozess ergibt, sind Bauwerksmodelle, die genügend viele Informationen enthalten und somit viele Fragen hinsichtlich der Materialien, Querschnitte, Abmessungen, Geometrie, Raumnutzung, usw. klären. Damit lassen sich konsistente, transparente und vollständige Statikmodelle erreichen, da schon gleich zu Beginn viele Festlegungen bezüglich des Tragwerks vorgenommen werden können. Letztendlich resultiert dabei auch eine geringere Fehlerquote.

### **3.7 Zwischenfazit**

Die neue BIM-basierte Arbeitsweise stellt auch für die Tragwerksplanung neue Möglichkeiten und Herausforderungen dar, die behandelt und wahrgenommen werden müssen. Angefangen von den jeweiligen in der Tragwerksanalyse befindlichen Modellen bis hin zu den unterschiedlichen BIM-Varianten wie Open und Closed BIM. Gerade Letzteres hat sich in der Praxis der Statiker sehr gut bewährt, weil der Austausch mit Statikmodellen mittels direkter Schnittstellen meist problemlos funktioniert. Um in Zukunft alle Planer berücksichtigen zu können, sollte allerdings mehr auf Open BIM gesetzt werden, das mit dem offenen Austauschformat IFC bereits auf einem guten Weg ist, sich für die Arbeitsprozesse der Tragwerksplaner durchzusetzen. Die allgemeine statische Berechnung wird durch BIM nur wenig beeinflusst, trotzdem sollten jedem Anwender Nebeneffekte wie ein verstärktes Arbeiten mit 3D-Gebäudemodellen bekannt sein, um auch weiterhin eine qualitativ hochwertige statische Berechnung durchführen zu können.



## 4 BIM-relevante Schnittstellen für die Tragwerksplanung

Das wohl wichtigste Werkzeug eines jeden BIM-Planers ist die Software. Aktuell gibt es eine große Anzahl an Programmen im Bauwesen, die versprechen, BIM-fähig zu sein. Für einen Statiker und Tragwerksplaner ist dies ein entscheidendes Kriterium, denn möchte er an einem BIM-Prozess teilnehmen, so muss auch seine Software über entsprechende Schnittstellen verfügen.

Grundsätzlich kann hier von **zwei unterschiedlichen Programmarten** gesprochen werden. Auf der einen Seite gibt es die **CAD- bzw. BIM-Applikationen**, deren Schwerpunkt auf der architektonischen Seite liegt. Sie bilden mit ihren geometrischen und physikalischen Strukturmodellen ein realistisches 3D-Gebäude. Auf der anderen Seite gibt es die **Statikprogramme**, die ein idealisiertes und vereinfachtes Berechnungsmodell als Basis für ihre statische Analyse haben. Hier werden statische Systeme durch Linien, Stäbe und Flächen in den Schwerachsen der 3D-Bauteile beschrieben. Dass hier zwei völlig unterschiedliche Geometrie- und Strukturphilosophien aufeinandertreffen, ist eine der größten Herausforderungen hinsichtlich der Interoperabilität von CAD- und Statiksoftware. Je mehr funktionierende Schnittstellen es zwischen den Bereichen der Architektur und Tragwerksplanung gibt, desto mehr führt dies zu einem besseren Datenaustausch. Hierbei kommt es vor allem auf die Qualität der Austauschformate an. Sie gewährleisten wie gut sie von den jeweiligen Programmen gelesen und geschrieben werden können, sodass ein Import und Export von Modellen möglichst reibungslos funktioniert.

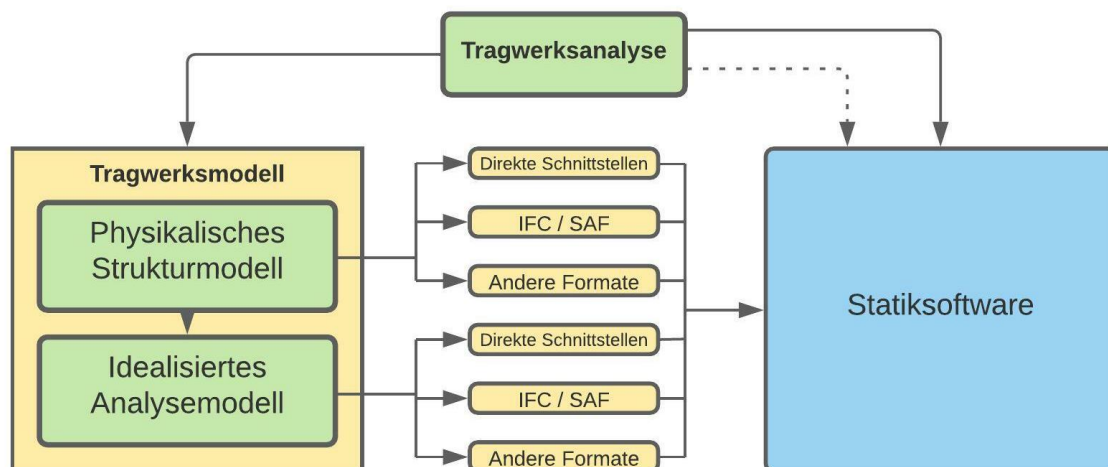


Abb. 4.1 Typischer BIM-Workflow in der Tragwerksplanung und der Tragwerksanalyse in Anlehnung an [44]

## 4.1 Interoperabilität

Interoperabilität beschreibt die Fähigkeit, Daten zwischen Anwendungen (BIM-Applikationen) möglichst verlustfrei austauschen zu können. Eine gute Schnittstellenkommunikation zwischen den unterschiedlichen Programmen soll für eine nahtlose Zusammenarbeit sorgen, um dem Benutzer Informationen auf eine effiziente Art und Weise zur Verfügung zu stellen. Dabei versuchen Softwarehersteller aller Art herstellernerneutrale, offene, nicht proprietäre Datenformate für die Realisierung einer weitreichenden und sinnvollen Interoperabilität in ihre Programme zu implementieren. [10] [14]

Trotzdem gibt es Bau-Softwareentwickler, die aufgrund ihrer großen Produktportfolios für viele Anwendungsbereiche Lösungen anbieten und zwischen ihren eigenen Produkten proprietäre Schnittstellen anbieten. Dadurch können die Programme des gleichen Herstellers einfacher kommunizieren, da sie gleiche Plattformen und Datenbanken unterstützen und somit bessere Synergieeffekte für die Anwender erzielen. Zumal es auch einfacher ist, seine eigenen Systeme miteinander zu verknüpfen, als eine externe Kopplung mit anderen Programmen zu entwickeln. [10]

Grundsätzlich muss bei den Austauschformaten und BIM-relevanten Schnittstellen in der Architektur und Tragwerksplanung zwischen **Import** und **Export** unterschieden werden. Vor allem objektplanende BIM-Applikationen sollten leistungsfähige Import- und Exportmöglichkeiten anbieten, sodass erstellte Bauwerksinformationen an andere Berechnungsprogramme einfach und korrekt übergeben werden können. Daher bieten auch viele Statiksoftwarehersteller ein umfangreiches Paket an Importmöglichkeiten an, um verschiedenste Formate einlesen und mit anderen CAD-Programmen kommunizieren zu können. So lassen sich oftmals ganze Strukturen mittels IFC-Dateien erstellen. Auch die sehr häufig verwendeten aus Gebäudemodellen abgeleiteten DXF- und DWG-Dateien lassen sich in nahezu jedes Statikprogramm importieren. Nach der statischen Berechnung ist es oftmals erforderlich, die Ergebnisse, wie zum Beispiel neue Stützenabmessungen an die Objekt- und Fachplaner in Form geeigneter Export-Schnittstellen zu übermitteln. Beispielsweise können viele Statikprogramme keine für die CAD-Programme relevanten IFC-Dateien erzeugen. Deshalb ist es empfehlenswert, sich bei den jeweiligen Programmherstellern über die Import- und Exportmöglichkeiten zu erkundigen.

Die heutige Welt der CAD- und Statiksoftware bietet drei Wege des Datentransfers an. Angefangen mit der **direkten nativen Schnittstelle**, bei der proprietäre Formate benutzt werden, da sie vom gleichen Entwickler erzeugt werden, über **direkte Schnittstellen**, bei denen zwei Programme Daten sowohl in die eine als auch in die andere Richtung austauschen können, bis hin zu **indirekten Schnittstellen**, die auf offene Austauschformate setzen. [45]

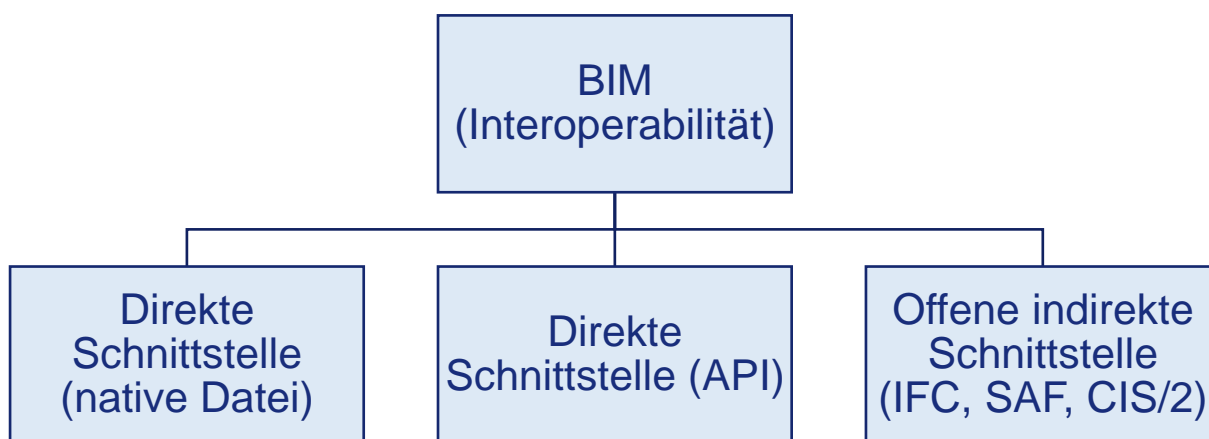


Abb. 4.2 Interoperabilität – Schnittstellen in einem BIM-Umfeld [84]

Bei den direkten Schnittstellen handelt es sich primär um geschlossene Lösungen (Closed BIM). Wie im Kapitel 3.4 schon erwähnt, erreichen die Architekten und Ingenieure konsistente, saubere und nahezu vollständige Modelle durch einen größtenteils fehlerfreien Datenaustausch zwischen den verknüpften CAD- und Statikprogrammen. Daher haben sich die direkten Schnittstellen in der Praxis bereits etabliert und gelten aktuell als die derzeit effektivste und effizienteste Methode für einen BIM-basierten Datenaustausch zwischen Objektplanern und Tragwerksplanern. Viele Tragwerksplaner schätzen die Möglichkeit aus digitalen Bauwerksmodellen Tragwerks- und Analysemodelle ableiten zu lassen und diese dann in ihre Statikprogramme meist problemlos zu überführen. Mittlerweile verfügen große BIM- und CAD-Entwickler über integrierte Analysemodelle, die automatisch beim Erzeugen eines digitalen Gebäudemodells mitgeliefert werden.

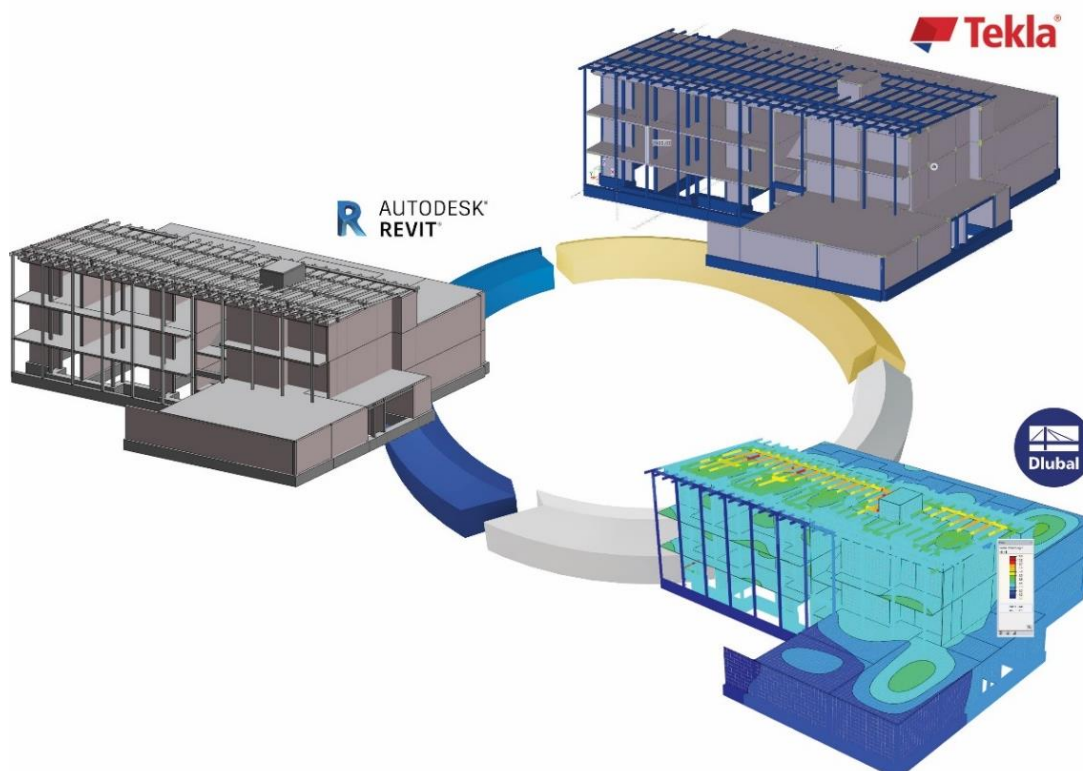


Abb. 4.3 BIM-Workflow unter Softwareherstellern: Entwurf Revit, Berechnung RFEM, Konstruktion Tekla Structures [96]

#### 4.1.1 Native Dateiformate

Der Austausch mittels nativer Dateien ist eine Methode, um Daten zwischen zwei Programmen auszutauschen, und basiert vorwiegend auf proprietären Austauschformaten. Nativ bedeutet dabei ursprünglich. Damit beschreiben beispielsweise native Objekte in einer Statiksoftware die für die Tragwerksanalyse erforderlichen Elemente wie Stäbe, Flächen und Auflager. Somit können native Objekte nur innerhalb einer bestimmten Anwendung benutzt werden und intern in der jeweiligen Software bearbeitet werden. [46]

Diese Art des Austausches besteht immer zwischen Programmen, die vom gleichen Softwarehaus entwickelt werden und ermöglicht daher oft einen reibungslosen Austausch innerhalb der gleichen Produktfamilie. Demnach sind bei der Verwendung nativer Formate Transferprobleme oder Datenverluste aufgrund der notwendigen Datenkonvertierung meistens nicht vorhanden. Lediglich bei unterschiedlichen Programmversionen kann es zu Fehlern in der Lesbarkeit führen, da erstellte neue Objektinformationen in den neueren Versionen nicht abwärtskompatibel sind. So kann es durchaus vorkommen, dass in den überholten Programmversionen die Dateien nicht vollständig gelesen und verwertet werden können. [51]

Ein klassisches Beispiel für ein natives Datenformat ist das von der CAD-Software AutoCAD generierte DWG-Dateiformat. Diese Dateien enthalten alle Informationen, die ein Anwender in ein CAD-Programm eingibt. Dabei können DWG-Dateien mit jeder Version von AutoCAD mit derselben Versionsnummer oder höher geöffnet werden. Allerdings ist ein Öffnen von DWG-Dateien aus der Version AutoCAD 2020 in der AutoCAD-Version 2017 nicht möglich. [47]

Ein weiterer Nachteil in der Benutzung dieser Formate ist das Vorhandensein weniger intelligenter Objekte. So muss bei jeder Änderung die Datei neu erzeugt werden und wieder in das andere Programm eingespielt werden. Das kann vor allem bei Großprojekten eine gewisse Herausforderung sein, an denen mehrere Teams beteiligt sind. Ebenfalls hinderlich sind andere Programme, die nicht aus dem gleichen Softwareunternehmen stammen, da sie auf diese Dateien und Informationen nicht zugreifen können. Zudem werden die Planer auch bei der Wahl ihrer Softwarewerkzeuge eingeschränkt, wenn mit nativen Dateiformaten gearbeitet wird, da nicht jeder Anwender über die benötigte Applikation verfügt. [48]

Es folgt eine Auflistung von Programmherstellern, deren native Dateiformate besonders gut für ihre eigenen Produkte ausgebaut sind:

- **Microsoft:** Microsoft 365 – Word, Excel, Powerpoint, Teams
- **Autodesk:** AutoCAD → Revit
- **Trimble:** Tekla Structures → Tekla Structural Designer
- **mbAEC:** ViCADo → BauStatik & MicroFe
- **Computers and Structures:** ETABS → CSiDetail
- **Prota Software:** ProtaStructure → ProtaDetails & ProtaSteel

#### 4.1.2 Direkte API-basierte Schnittstellen

Zwei unabhängige Programme können auch über direkte Schnittstellen miteinander gekoppelt werden. Über API's (Application Programming Interfaces) werden Daten von einem Programm zum anderen Programm übergeben, die anschließend in native Objekte konvertiert werden. Eine API beschreibt eine programmierbare Schnittstelle, die es einem Softwareentwickler A ermöglicht, auf andere bereitgestellte Datenbanken eines anderen Softwareentwicklers B zuzugreifen und somit an seine eigenen Softwarelösungen anzubinden. In der Regel werden diese Schnittstellen über einfache Programmiersprachen wie C++, C# und VBA bedient. In den aktuellen Bausoftwarelösungen gibt es viele solcher Schnittstellen, oft innerhalb der eigenen Produktfamilie eines

Herstellers und darüber hinaus durch Vereinbarungen zwischen zwei oder mehreren Softwareunternehmen. [29] [45]

Direkte Schnittstellen eignen sich besonders für eine direkte Kopplung zwischen CAD- und Statikprogrammen. Da Statikprogramme üblicherweise auf einem objektorientierten Datenmodell und CAD-Programme überwiegend auf einem parametrischen Gebäudemodell basieren, geht die „Intelligenz“ der Objekte beim Datenaustausch nicht verloren. Das bedeutet, dass eine Wand, Stütze oder Decke wieder ein gleichwertiges natives Objekt im CAD-Programm wird und keine Ansammlung von Linien oder Flächen entstehen. Beispielsweise führen namhafte 3D-BIM-Autorenprogramme wie Revit und Tekla Structures ein integriertes statisches Analysemodell mit, das durch das geometrische Volumenmodell abgeleitet wird. Mittels direkter Schnittstellen wird anschließend das Analysemodell in das Statikprogramm importiert. Das daraus entstehende FE-Modell wird automatisch generiert und ein erneutes Eingeben des Statikmodells entfällt. Alle relevanten Strukturdaten (Knoten, Linien, Stäbe, Flächen, ...) sowie Querschnitte, Materialien und weitere statisch relevante Informationen wie Auflager- und Gelenkdefinitionen werden vom CAD-Programm an das Statikprogramm übergeben. Eine Austauschdatei wird dabei nicht erstellt und die Anwender sind nicht an Formate wie DWG, IFC oder SAF gebunden. Deshalb können die beteiligten Softwarefirmen selbst darüber entscheiden, welche Möglichkeiten und Grenzen sie für den Anwender bei der Übergabe von Bauwerksinformationen zulassen. [41] [49]

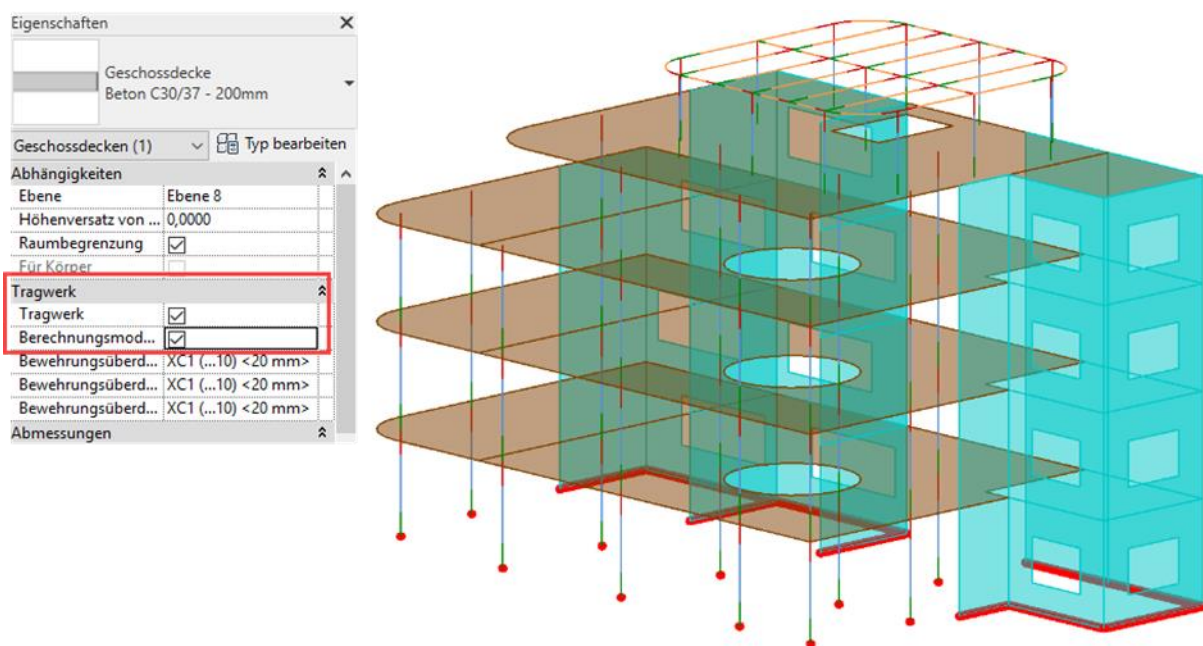


Abb. 4.4 Analyse- bzw. in Revit genanntes Berechnungsmodell [84]



Softwareunternehmen bevorzugen es, direkte Schnittstellen eher bereitzustellen als nicht-proprietäre Formate, da sie diese besser unterstützen, entwickeln, kontrollieren und warten können. Da sich der Funktionsumfang der Schnittstellen häufig an den Kundenwünschen orientiert, ist jede Verknüpfung durch unterschiedliche Anforderungen seitens der Softwarehersteller definiert und dementsprechend aufgebaut. Folglich gleicht keine direkte Schnittstelle der anderen. Anders als bei einer vorgegebenen Syntax eines offenen Formats wie dem IFC können die betroffenen Unternehmen frei entscheiden, wie sie die Links in der Programmierung gestalten. [45]

Häufig wird bei einigen Programmanbietern auch von bidirektionalen Schnittstellen gesprochen. Hierbei handelt es sich um die Datenübertragung in beide Richtungen. So werden Informationen von einer Spezialsoftware zur anderen und wieder zurück gegeben. Zum Beispiel wird bei einem Export eines Analysemodells aus dem BIM-Programm Tekla Structures automatisch ein Statikmodell im Stabwerksprogramm RSTAB generiert. Nach abschließender Berechnung und Bemessung der Tragwerksstruktur werden die neuen Ergebnisse wieder an das BIM-Autorenprogramm zurückgespielt. Dadurch bieten bidirektionale Schnittstellen gewisse Roundtrips an, Änderungen im Modell zu synchronisieren. Beispielsweise lassen sich Änderungen hinsichtlich des Materials, der Dicke und des Querschnitts schnell aktualisieren oder neu hinzugefügte Bauteile im Entwurfsmodell ergänzen. [49]

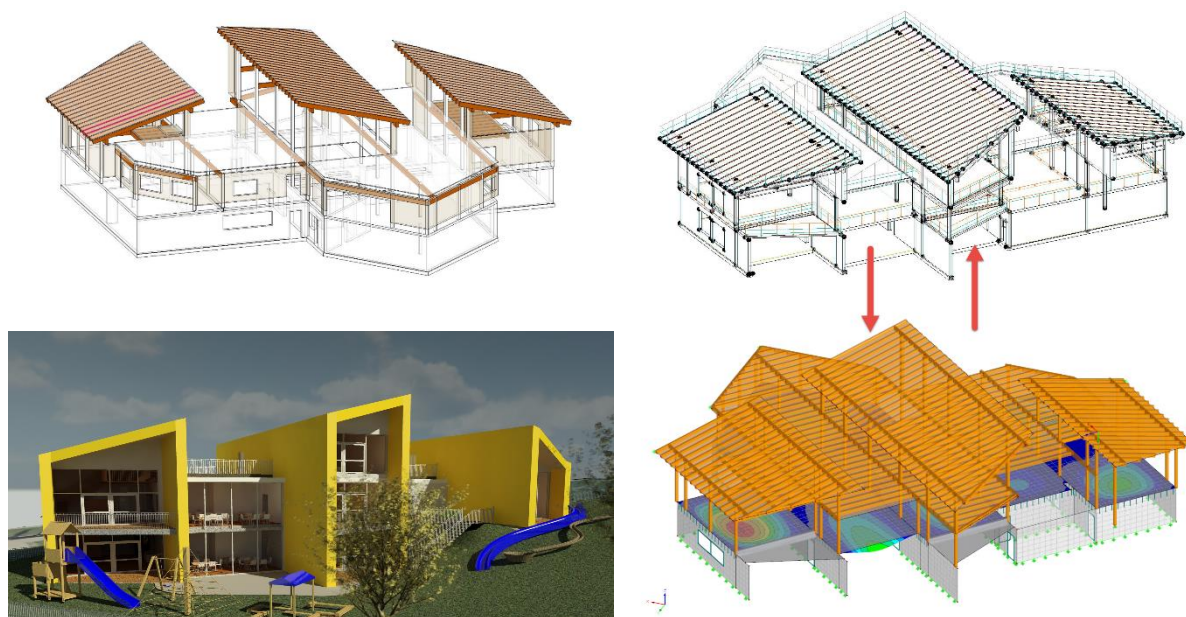


Abb. 4.5 Beispiel für eine digitale BIM-gestützte Tragwerksplanung: Kindergarten in Schwoich, Österreich (© AGA-Bau) [95]  
Oben links: Physikalisches Revit-Modell; Unten links: Visualisiertes 3D-Modell des Kindergartens;  
Oben rechts: Analytisches Revit-Modell; Unten rechts: RFEM-Modell



Viele Programme arbeiten beim bidirektionalen Austausch von Daten mit sogenannten Global Unique Identifier (GUID). Diese ID's lassen sich auch in anderen offenen Formaten wie dem IFC oder SAF finden. Jedes Bauteilobjekt erhält eine ID. Das ist eine zufällige Zeichenfolge, die es nur einmal gibt. In den CAD-Programmen wird jedem Objekt eine GUID zugewiesen, sodass bei einem Import und Export diese GUID übertragen und den zugehörigen Objekten (Stab, Fläche, Material etc.) des Statikprogramms angefügt wird. Durch die Vergabe von GUID's sind Aktualisierungen und Updates von Modellen in beide Richtungen möglich. Ein erneutes Erzeugen von Objektinformationen findet nicht statt, da nur diejenigen Objekte aktualisiert werden, die von den Änderungen betroffen sind. Wird zum Beispiel ein Bauteil verschoben oder ein Konstruktionselement gelöscht, weiß das andere Programm durch den Abgleich der im Hintergrund gespeicherten ID's, welche Veränderungen vorgenommen wurden. Dies resultiert in einer besseren Verträglichkeit beim Datenaustausch, vor allem bei Roundtrips und notwendigen Update-Szenarien. [50]

Besonders positiv hervorzuheben ist der meist fehlerfreie und schnelle Datenaustausch zwischen den CAD- und Statikprogrammen sowie die große Auswahl an zu übergebenden Bauwerksinformationen. Oftmals können durch direkte Schnittstellen mehr Informationen abgebildet werden als bei offenen Datenformaten. [8] Außerdem verfügen die Planer bei dieser Art der Informationsübertragung über konsistente Daten, was einer reibungslosen Integration von Arbeitsabläufen in den Planungsprozess zugutekommt. Nebenbei werden parallele beziehungsweise mehrere Dateien beim Austausch vermieden, sodass die Planungsteams von aktuellen Modellen profitieren, sobald Veränderungen auftreten. Das Füttern von BIM-Applikationen mit weiteren hilfreichen Ergebnissen wie Verformungen, Schnittgrößen und der erforderlichen Bewehrung aus den Berechnungs- und Bemessungstools kann zur weiteren Verarbeitung, Prüfung und Beurteilung des BIM-Modells hilfreich sein. Die Bausoftwarehersteller ziehen ebenfalls ihren Vorteil daraus, da sie in der Gestaltung ihrer Schnittstellenfunktionalität mit dem anderen Partner grundsätzlich frei sind und nicht durch die Vorgabe der Codestruktur anderer Formate beschränkt werden. [49]

Einer der Vorteile der direkten Schnittstellen ist die von den Unternehmen bereitgestellte API, die Planungsbüros für die Erstellung ihrer eigenen Tools, Anwendungsapplikationen und Plugins benutzen können. Vorausgesetzt wird hierfür, dass die Programmpaare die notwendigen API's zur Verfügung stellen. Überdies sind Programmdokumentationen der Hersteller und auf Seiten der Anwender Programmierkenntnisse

erforderlich. Damit wird bei gleichzeitigem Einsparen von Zeit und Kosten, ein wesentlich höherer Automatisierungsgrad des Planungsprozesses erzielt. Weiterhin können die Anwender durch ihre eigenentwickelten Lösungen Fehler vermeiden und verfügen über eine bessere Kontrolle ihrer Ein- und Ausgaben von Daten. [49]

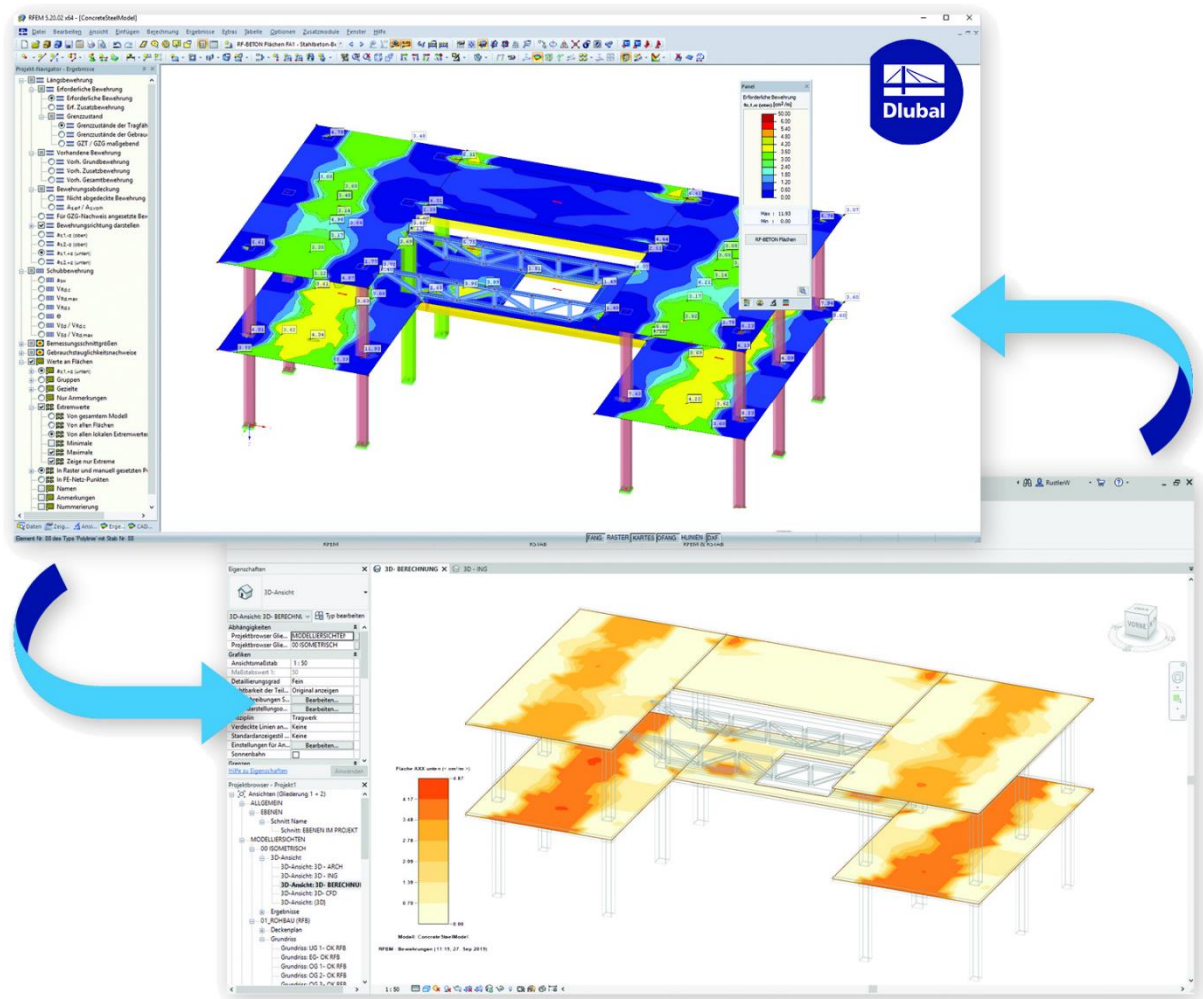


Abb. 4.6 Bewehrungsgehalt in RFEM (oben) und Revit (unten) nach Export über direkte Schnittstelle [89]

Eine große Beeinträchtigung dieser Schnittstelle ist, dass beide Softwarelösungen auf demselben Computer installiert sein müssen. Dies kann sicherlich für höhere Investitionskosten sorgen, die gerade für kleinere Planungsbüros nicht einfach zu stemmen sind. Auch werden die Architekten und Ingenieure in ihrer Wahl der fachbezogenen Programme eingeschränkt, da sich das Planungsteam auf einen Hersteller-Standard festlegen muss und somit für Spezialgewerke keine Gesamtlösung zur Verfügung steht. So kann es durchaus vorkommen, dass sich nicht alle Fachplaner an einem BIM-Projekt beteiligen können, da sie nicht über die gewünschte Softwareausstattung verfügen. Dies führt typischerweise zu einer Marktverengung mit Wettbewerbsbeeinträchtigungen bei Planungsbüros und ausführenden Baufirmen. [14] [51] [52]

Aus Sicht der Softwarehersteller besteht auch in der aufwändigen Programmierung ein Nachteil, da zu jedem Programm eine extra Schnittstelle programmiert werden muss. Aufgrund der mittlerweile großen Anzahl an unterschiedlichen BIM- und Statikprogrammen auf dem Markt, ist es umso unwahrscheinlicher, dass jede Software eine direkte Lösung zu jedem Programm haben wird.

Hier folgt eine Auflistung von **Statiksoftwareunternehmen**, deren direkte Schnittstellen zu anderen BIM- und CAD-Herstellern besonders gut ausgebaut sind:

- **Dlubal Software:** RSTAB & RFEM → Revit & Tekla Structures
- **SOFiSTiK:** SOFiSTiK Analysis + Design → Revit
- **Computers and Structures:** ETABS & SAP2000 → Revit & Tekla Structures
- **Bentley:** STAAD.Pro – ISM → Revit & Tekla Structures
- **Strusoft:** FEM-Design → Revit & Tekla Structures
- **Ingware:** AxisVM → Revit & Tekla Structures

Hier folgt eine Auflistung von **BIM- und CAD-Herstellern**, deren direkte Schnittstellen zu anderen Statiksoftwareunternehmen besonders gut ausgebaut sind:

- **Autodesk:** Revit → RSTAB & RFEM, SOFiSTiK Analysis + Design, ETABS & SAP2000, STAAD.Pro – ISM, FEM-Design, AxisVM, InfoCAD BIM Add-In (InfoGraph)
- **Trimble:** Tekla Structures → RSTAB & RFEM, ETABS & SAP2000, STAAD.Pro – ISM, FEM-Design, AxisVM, InfoCAD BIM Add-In (InfoGraph)

## 4.2 Offene und indirekte Schnittstellen

Bei der Planung von Gebäuden arbeiten alle Projektbeteiligten mit unterschiedlichen Programmen. Aufgrund der vielen Fachdisziplinen in der Planung von Bauwerken erscheint es logisch, dass es in der Theorie von BIM kein Programm für alle Anwendungsbereiche gibt. Unzählige Softwareanbieter müssten für einen reibungslosen Datenaustausch Schnittstellen zu anderen Anbietern garantieren und zur Verfügung stellen. Dass dies mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist, zeigt die nächste Grafik, die deutlich macht, wie viele gemeinsame Schnittstellen entwickelt werden müssten, um die Programme miteinander kommunizieren lassen zu können. Mit der Verwendung einheitlicher und standardisierter Formate könnten allerdings unter der Vielzahl spezialisierter Softwarewerkzeuge Synergien für einen uneingeschränkten Austausch von BIM-Dateien geschaffen werden.

Hierbei wird den offenen Formaten eine wesentliche Schlüsselrolle zugeschrieben. Offene Standards sorgen für eine softwareübergreifende Datenübergabe. Bei der Anwendung offener Schnittstellen und Lösungen können die Fachplaner mit ihren eigenen Softwareapplikationen arbeiten. Dabei kommen vorwiegend nichtproprietäre Formate wie IFC, BCF und SAF zum Einsatz, die unerlässlich für die Open BIM Arbeitsweise sind. Der Ansatz, mit offenen und herstellerneutralen Formaten Daten auszutauschen, gewährleistet die optimale Programmauswahl der Architekten und Ingenieure. [10]

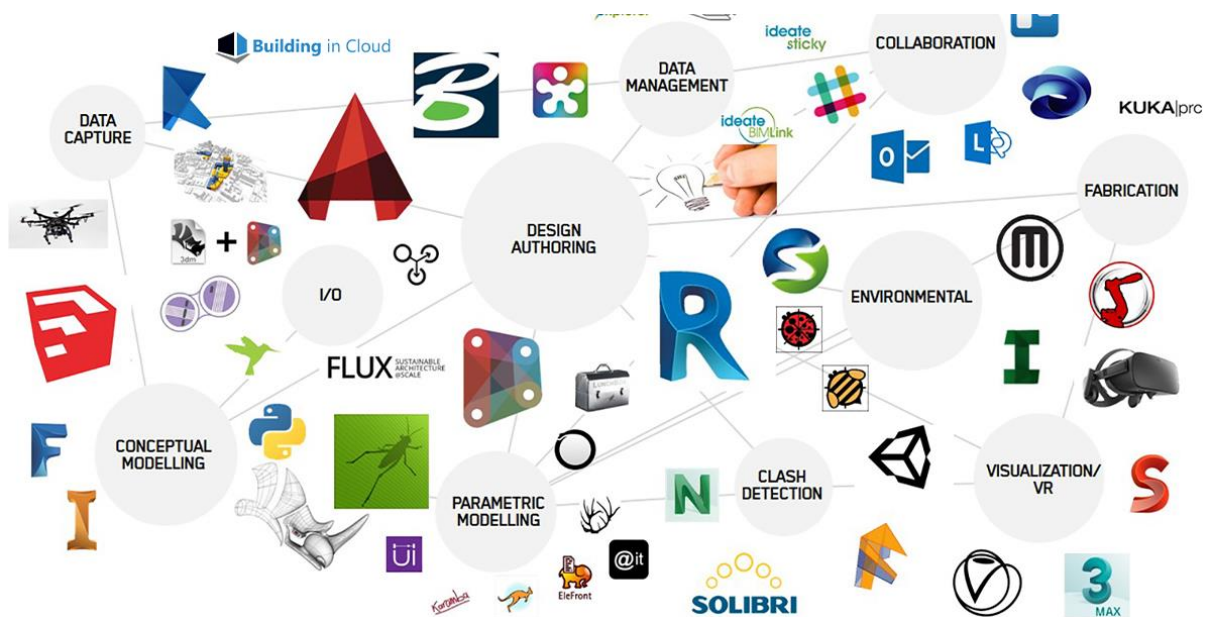


Abb. 4.7 Angebot von Softwarewerkzeugen für diverse Anwendungsbereiche im Rahmen eines BIM-Projekts [90]

## 4.2.1 Industry Foundation Classes – IFC

### 4.2.1.1 Allgemeines



Bei dem PDF der Bauindustrie, den Industry Foundation Classes (IFC) handelt es sich um ein herstellerunabhängiges Datenmodell zum Austausch von digitalen Gebäudemodellen. Das umfassende und standardisierte Datenformat bildet eine besonders wichtige Grundlage für die Umsetzung eines offenen Datenaustausches in einem Open BIM-Prozess. [10]

Abb. 4.8 Logo von buildingSMART, häufig auch mit IFC in Verbindung gebracht [91]

Das wohl am häufigsten benutzte Datenmodell wird von der internationalen Organisation buildingSMART gepflegt. Sie ist verantwortlich für die Zertifizierung, Definition und Entwicklung des IFC-Standards. Nebenbei werden von buildingSMART noch weitere Austauschformate entwickelt und betreut, mit dem Ziel den Datenaustausch im Rahmen von BIM-basierten Planungsprozessen zu standardisieren. [10]

Mit dem IFC-Format stehen den Planern weitreichende Möglichkeiten zur interdisziplinären Zusammenarbeit zur Verfügung. So lassen sich durch die nichtproprietäre Konzeption beliebige Softwarelösungen verwenden, sodass jeder Fachplaner seine Teilmodelle mit den anderen Teilmodellen der jeweiligen Fachplaner zu einem integrierten Gesamt- bzw. Koordinationsmodell zusammenführen kann. [51]

#### 4.2.1.2 Aufbau und Struktur

Das IFC beruht auf der Datenmodellierungssprache EXPRESS und kann daher mit jedem beliebigen Text-Editor geöffnet und bearbeitet werden. EXPRESS ist eine deklarative Sprache und kann objektorientierte Datenmodelle definieren. Die hierarchisch aufgebaute Struktur des IFC-Schemas arbeitet daher mit objektorientierten Ansätzen basierend auf Klassendefinitionen, die bauspezifische Objekte wie Bauteile, Räume, Materialien und Geschosse repräsentieren. Für jede Klasse werden durch Abhängigkeiten und Attribute Verbindungen zu anderen Entitys beziehungsweise Entitäten definiert. Eine Entität steht hierbei synonym zum Begriff Klasse. Dank des objektorientierten Konzeptes lassen sich auch Vererbungen umsetzen, wodurch Eigenschaften und Beziehungen an andere Klassen weitergegeben werden. IFC-Daten enthalten somit nicht nur geometrische Informationen, sondern können auch semantische, also nicht-geometrische Daten beinhalten, sodass den Bauteilelementen eine genauere Bedeutung zugeschrieben werden kann. Unter der Semantik werden Zusatzinformationen verstanden, die ein Modell hinsichtlich der Bauweise, der Funktionen der Bauteile (Stütze, Wand, Decke, ...) oder der Materialeigenschaften beschreiben. [10] [51] [52]

Jedes Bauteil ist ein eindeutig identifiziertes Objekt im IFC-Datenmodell und wird einer bestimmten IFC-Klasse (Entity) zugeordnet. Standardisierte Klassen sind ebenfalls vorhanden, die Projektinformationen beinhalten und die Projektstruktur beschreiben. Beispielsweise können Bauteile über die IFC-Klasse *IFCBuildingStorey* eindeutig einer Ebene zugewiesen werden und abhängig davon, Bauteile zu dieser hinzugefügt werden. Weiterhin können auch Relationen zwischen den BIM-Objekten erstellt werden,

wie z. B. die Zuordnung von Öffnungen und Türen zu Wänden. Aufgrund dieser Abhängigkeiten werden bei Änderungen von Bauwerksinformationen die Modelle automatisch angepasst. [51] [53] [54]

#### 4.2.1.3 Dateiformate

Während das IFC im Allgemeinen ein Schema beziehungsweise ein Datenmodell beschreibt, können bei der Benutzung von IFC-Dateien diverse Formate aus den AutoCAD-Programmen exportiert werden. Dabei lassen sich im Wesentlichen drei Typen mit unterschiedlichen Dateigrößen unterscheiden. [53] [55]

##### **IFC (STEP – SPF)**

Das Standardformat mit der Dateiendung **\*.ifc** basiert auf dem Datenformat STEP (Standard for the Exchange of Model Data), genauer gesagt STEP physical files (SPF), die das IFC-Datenschema als Grundlage besitzen. Die wohl am häufigsten vorkommende IFC-Datei liegt im ASCII-Format vor, das in jedem beliebigen Texteditor geöffnet und gelesen werden kann. ASCII steht für American Standard Code for Information Interchange und dient als Zeichenkodierung. Leider werden durch die Vorgabe des ASCII-Formats die IFC-Dateien bezüglich der Dateigröße deutlich vergrößert. [56]

##### **IFCxml**

Das **\*.ifcxml** ist ein spezielles Format für Softwareapplikationen, die kein IFC unterstützen. XML steht dabei für Extensible Markup Language. Das Format ist in der Praxis aufgrund der größeren Dateigröße verglichen mit dem IFC-Standardformat weniger verbreitet.

##### **IFCzip**

Mithilfe einer **\*.ifczip**-Datei können besonders große **\*.ifc** oder **\*.ifcxml**-Datei komprimiert und in ihrer Dateigröße verkleinert werden. Sie wird von den meisten Programmen gelesen und kann durch ein Entpacken unkomprimierte IFC-Dateien sichtbar machen.

#### 4.2.1.4 Versionen und Entwicklungen

Das Bestreben, den IFC-Standard weiter zu verbessern, wird von Seiten der Industrie und der Organisation buildingSMART großgeschrieben. So wird an der Integration weiterer Bereiche des Hoch-, Tief- und Ingenieurbaus gearbeitet, um einen standardisierten und verlustfreien Datenaustausch zu ermöglichen. Mit dem Erscheinen der ersten



IFC-Versionen wurde eine neue Ära in der interdisziplinären Zusammenarbeit bei Bauprojekten und dem Austausch von Bauwerksdaten dank des offenen und herstellerunabhängigen Datenmodells eingeläutet. [10] [51]

Nachdem die ersten Prototypen Ende der 90er und Anfang der 2000er Jahre entwickelt wurden, hat sich seit dem Jahr 2006 das **IFC 2x3-Format** aufgrund der wesentlichen Qualitätsverbesserungen gegenüber den Vorversionen in den meisten Softwareanwendungen etabliert. Die neueste Version ist das **Format IFC 2x4 (IFC 4)** vom Jahr 2013 und soll laut [10] [51] die Version IFC 2x3 langsam, aber stetig ablösen. Auch wenn es derzeit das neueste Format ist, wird das IFC 4 in der Praxis nicht oft verwendet, was in der unzureichenden IFC-Implementierung (Stand 2021) vieler Programme begründet wird. So unterstützt immer noch eine große Auswahl an Softwareherstellern das IFC 2x3-Format. [8]

IFC-Version	Zeitraum	Verwendung
1.0, 1.5, 2.0	2000-2002	Frühe Prototypen
2x, 2x2	2002-2008	Für Early Adopters
2x3	2008-2016	In praktischer Anwendung
4 (nach ISO 16739)	Seit 2014	Aktuelle Version
5		In Entwicklung

Abb. 4.9 Übersicht der IFC-Versionen von 2000 bis heute, in Anlehnung an [8]

#### 4.2.1.5 Model View Definitions – MVD

Beim Arbeiten mit BIM-Autorenprogrammen werden oftmals Unmengen an Daten produziert, die beim Austausch mit anderen Fachdisziplinen nicht unbedingt notwendig sind. Das macht die IFC-Datei unnötig groß, komplex und kann bei Änderungen auch zu Fehlern führen. Damit nur eine Teilmenge der gewünschten Informationen an die Fachplaner gelangt, gibt es sogenannte Model View Definitions (MVD). Diese gefilterten Sichten können aufgabenbezogene Teil- bzw. Untermengen an Daten auf Basis des IFC-Schemas austauschen. Somit wird die Gesamtmenge der IFC-Daten für die jeweiligen Anforderungen des spezifischen Informationsaustausches reduziert. [51]

Beim Export einer IFC-Datei können verschiedene Views ausgewählt werden, um fachspezifisch dargestellt und weiterverarbeitet zu werden. Dabei legen die MVD's den

Umfang und Inhalt der übertragenen Daten fest. Die Qualität des Datenaustausches beim Lesen und Schreiben einer Sicht ist hierbei von den Softwareanbietern abhängig.

Im Folgenden werden die vier wichtigsten Views vorgestellt:

### **IFC 2x3 Coordination View 2.0 (CV)**

Der Coordination View ist die derzeit meistverbreitete Ansicht von buildingSMART. Das Ziel des Coordination Views ist die Koordinierung zwischen den Fachbereichen Architektur, Tragwerksplanung und Gebäudetechnik während der Planungsphase. Inhaltlich besteht er aus Definitionen zur räumlichen Struktur und enthält Informationen zu Bauwerks- und Tragwerkselementen. An diese Elemente können Eigenschaften und Attribute vergeben werden. [59]

Mithilfe des Coordination Views wird ein Modell mit seinen physischen und geometrischen Eigenschaften als Volumenkörper beschrieben. Hierbei kann er beispielsweise für korrekte Massenermittlungen, Kollisionsprüfungen oder Visualisierungen verwendet werden. [57]

Der Grund für die häufige Verwendung liegt an der Bereitstellung eines IFC-Zertifizierungsprogramms von buildingSMART. Dadurch wird es Softwareunternehmen ermöglicht, ihre Programme für den Import und Export von IFC-Dateien validieren zu lassen. Infolgedessen wird ein konsistenter und zuverlässiger IFC-Datenaustausch sichergestellt. Viele Softwarehersteller haben das seit dem Jahr 2010 zur Verfügung stehende Zertifizierungsangebot wahrgenommen und den IFC 2x3 Coordination View in ihren Anwendungen erfolgreich implementiert. [59]

Ein Blick auf die Plattform der zertifizierten Statikprogramme der Website von buildingSMART zeigt, dass es nur wenig Statikprogramme (RFEM & RSTAB von Dlubal Software und SCIA Engineer von SCIA) gibt, die einen zertifizierten Import anbieten. [58]

### **IFC 4 Reference View (RV)**

Wie der Name beim Reference View bereits verrät, handelt es sich hierbei um eine vereinfachte referenzierte Ansicht von digitalen Modellen, die mit räumlichen, geometrischen und physikalischen Informationen hinterlegt sind. Auch fachspezifische Informationen zu Materialien und Querschnittsbezeichnungen können enthalten sein. Der Reference View ist eine Erweiterung des Coordination Views und ist für die Koordination und Zusammenführung verschiedener Fach- und Teilmodelle bestimmt. [10] [51]



Meist werden exportierte Referenzmodelle in die Softwareanwendungen anderer Fachplaner importiert, um sich das Modell der vorherigen Disziplin anzeigen zu lassen. Weil Veränderungen von Modellobjekten nur bedingt möglich sind, dient der Reference View hauptsächlich der Kontrolle und ist somit eher für einen eindirektionalen Austausch gedacht. Wenn Änderungen vorgenommen werden müssen, geschehen diese mittels BCF (BIM Collaboration Format), indem Wünsche und Anfragen an den Autor übermittelt werden. Weitere Anwendungsfelder für den View sind die Erstellung von Koordinationsmodellen, das Ermitteln von Mengenangaben und das Durchführen von Kollisionsprüfungen. [51] [55]

#### **IFC 4 Design Transfer View (DTV)**

Während beim Reference View keine Änderungen vorgenommen werden können, kommt für Workflows, in denen das Modell zur weiteren Verwendung und Bearbeitung freigegeben wird, der Design Transfer View in Frage. Hier können die gesamten Informationen des Modells ausgetauscht werden und in den Programmen der beteiligten Planer Änderungen vorgenommen werden. Beispielsweise können bei Kollisionen verschiedener Bauteile Modifizierungen durch Verschieben oder Löschen durchgeführt werden, um die Geometrie direkt anzupassen. [51]

#### **Structural Analysis View (SAV)**

Die wohl wichtigste Ansicht für die Tragwerksplanung in einem IFC-basierten Informationsaustausch ist der Structural Analysis View. Während die vorherigen Views die physischen und geometrischen Eigenschaften eines Volumenkörpers beschreiben, liegt der Fokus des Structural Analysis Views auf den analytischen Modelldaten. Bauteile wie Wände, Decken und Stützen beziehen sich daher immer auf ihre Achse und werden als Linien- und Flächenelemente idealisiert. [57]

Der Structural Analysis View enthält Angaben zu geometrischen Strukturdaten wie Stäben, Flächen und Auflagerbedingungen, Belastungen, Definition von Lastfällen und -gruppen sowie Materialnamen und Querschnittsinformationen. Die untenstehende Abbildung zeigt die aktuell vorhandenen Elemente des Structural Analysis Views.

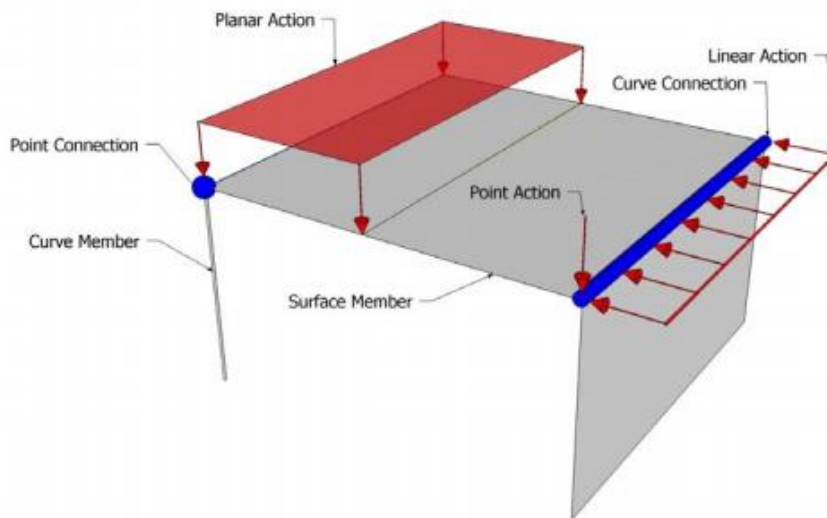


Abb. 4.10 Darstellung der vorhandenen Elemente des Structural Analysis View (2x3) [59]

Nicht enthaltene, aber wünschenswerte Daten aus Sicht der Statik wären Ergebnisse in Form von Schnittgrößen, Auflagerkräften, Verformungen und Spannungen. Außerdem wären weitere Eingaben hinsichtlich der Belastung vorstellbar, sodass auch Temperaturen, Vorspannungen und Zwangskräfte berücksichtigt werden könnten. Auch die Erweiterung um mögliche Strukturdaten wie Gelenke und Stabtypen wäre denkbar. Die nachfolgende Abbildung bietet eine abschließende Übersicht über die enthaltenen und gewünschten Bausteine. [59]

Enthalten	Wünschenswert
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Stab- und Flächenelemente</li> <li>✓ Einzel-, Linien- und Flächenlasten</li> <li>✓ Knoten- und Kurvenverbindungen</li> <li>✓ Auflagerdefinitionen</li> <li>✓ Materialname</li> <li>✓ Profilname und Querschnittsdaten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Nichtlineare Lager und Gelenke</li> <li>❖ Ergebnisse: Schnittgrößen, Auflagerreaktionen, Verformungen und Spannungen/Dehnungen</li> <li>❖ Bemessungsergebnisse: Bewehrung</li> <li>❖ Lastarten: Momente, Temperatur, Vorspannungen</li> <li>❖ FE-Netzelemente</li> <li>❖ Dynamik: Massen</li> </ul>

Abb. 4.11 Übersicht über die enthaltenen und gewünschten Bausteine des SAV [84]

Trotz der kleinen Auswahl an Modelldaten im SAV, lassen sich damit zumindest einfache Tragwerke im Hochbau vor allem in der Entwurfsphase berechnen. Anwender können daher ihre Analysemodelle schnell in die Statikprogramme importieren. Hierbei

werden die in der Realität vorkommenden 3D-Objekte meist in 1D-Stab- bzw. 2D-Flächenelemente umgewandelt. Aufgrund dieser Vereinfachung kann es bei Statikprogrammen und importierten IFC-Dateien häufig zu Problemen führen, die die Umwandlung von referenzierten IFC-Objekten in statisch relevante native Elemente betreffen. Darüber wird im Kapitel 4.1.3.7 genauer eingegangen.

Momentan wird der SAV nur von einigen wenigen Statiksoftwareherstellern unterstützt und ist laut [59] auch nicht für einen Datenaustausch zwischen Architektur- und Statikprogrammen gedacht. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass die Bemühungen in der Weiterentwicklung des SAV seitens der Industrie und buildingSMART abgenommen haben und in Zukunft auch keine nennenswerten Verbesserungen zu erwarten sind. Folglich hat sich dieser View in der CAD-Welt nie durchgesetzt, da keine CAD-Programme den Import oder Export des SAV anbieten. So wird der SAV vorwiegend für interne Prozesse in der baustatischen Tragwerksanalyse benutzt, wie dem Transfer zwischen mehreren statischen Berechnungs- und Bemessungsprogrammen oder dem Datenaustausch zwischen Aufsteller und Prüfstatiker.

#### 4.2.1.6 Anwendungsbereiche

Um einen möglichst guten Datenaustausch bewerkstelligen zu können, benötigen die Projektbeteiligten die Implementierung von IFC-Dateien in die fachspezifischen Softwareapplikationen. Das IFC wird mittlerweile von nahezu jeder BIM-fähigen Software unterstützt. Sowohl Architekten als auch Tragwerksplaner können damit bereits eine Vielzahl an Anwendungsfällen erfolgreich abdecken. Im Folgenden werden die für die Statiker wichtigsten Use Cases aufgeführt.

#### **Erstellung von Koordinationsmodellen und Koordination der Fachgewerke**

Zur besseren Koordinierung und Abstimmung der Fachplanungen werden Koordinationsmodelle verwendet, die durch das Zusammenfassen von referenzierten Teilmodellen der Projektbeteiligten entstehen. So lassen sich frühzeitig interdisziplinäre Fehler entdecken, die dann dementsprechend korrigiert werden können. Diese Modelle können mithilfe des offenen Formats IFC ausgetauscht und in sogenannten Viewern oder Model Checkern geöffnet werden. Während Viewer wie BIMvision und OpenIFCViewer meist kostenlos genutzt werden können, gibt es bei den Model Checkern auch kostenpflichtige Programme wie Trimble Connect und Solibri. Mithilfe dieser Programme lassen sich IFC-Dateien entweder nur einlesen oder auch bearbeiten. [13]

Die Statiker können nach dem Erhalt von IFC-Modell im Vorhinein überprüfen, ob das Tragwerk auch sinnvoll gewählt wurde oder ob Änderungen an der Tragstruktur vorgenommen werden müssen. Daraufhin lassen sich nicht übereinanderliegende Wände, vergessene Durchbrüche oder versetzte Fensteröffnungen schnell feststellen. Infolgedessen fällt die Arbeit mit ausgedruckten Plänen und transparentem Papier, das über die Geschosse übereinandergelegt worden ist, weg.

### **Kollisionsprüfungen und Issue-Management**

Mit der Koordination geht auch das Thema Kollision einher. Bei der Integration mehrerer Modelle können gemeinsame Konfliktpunkte erkannt werden, was auch mit dem Begriff Clash Detection verbunden wird. Mit dem Ziel der Kollisionserkennung lassen sich beispielsweise fehlende Durchbrüche oder fälschliche Überschneidungen erkennen und beseitigen. Gerade für Statiker kann dies sehr sinnvoll sein, um sich mit den Schlitz- und Durchbruchplanungen des Gewerks der TGA abzustimmen. [13]

Zum Beispiel werden für den Fachplaner HLS sogenannte NGA's (No-Go-Areas) als farbige Flächen im Modell aufbereitet, sodass dieser bei seiner Konzeption der Trassenführung bereits im frühen Stadium auf kritische Stellen im Tragwerk hingewiesen werden kann. [60]

Der Prozess, Fehler und Probleme zu dokumentieren und zu beheben, nennt sich auch Issue-Management. Jedes Issue ist dabei eine Unstimmigkeit, das nicht nur eine Kollision voraussetzt, sondern auch einen (vermeintlichen) Fehler in der Planung sein kann. Eng mit dem IFC verbunden ist daher auch das BCF-Format, das ähnlich wie eine Revisionswolke funktioniert. Als einfaches Werkzeug ist es möglich, betreffende Problemstellen zu markieren und mit Änderungsanforderungen zu dokumentieren. [13]  
[61]

### **Mengen- und Kostenermittlungen sowie Termininformationen**

IFC-Modelle eignen sich dank ihrer physikalischen Volumenbeschreibung sehr gut für Mengen- und Kostenermittlungen. Wenn Modellobjekte neben ihren Geometrieinformationen auch noch mit Angaben zu Soll- und Ist-Terminen, also „Zeit“, verknüpft werden, wird auch oftmals von **4D-BIM** gesprochen. **5D-BIM** berücksichtigt hingegen noch die Komponente „Kosten“. Inzwischen bieten auch viele BIM-fähige Programme modellbasierte Mengenermittlungen an, die nach bestimmten Elementgruppen gefiltert werden können. So kann beispielsweise der Baustatiker seine Massen aus dem Tragwerksmodell ableiten und mit intelligenten Bauteillisten verknüpfen, die wiederum für

die Kostenberechnungen verwendet werden können. Darüber hinaus können diese Erkenntnisse auch für die Terminplanung eingebunden werden. [51] [63]

### **Weitere Anwendungsbereiche**

Erwähnenswerte Anwendungen, die mittels IFC auch durchgeführt werden, sind Visualisierungen, die für visuelle Präsentationen verwendet werden können. Außerdem sind Simulationen wie die von einem Bauablauf möglich.

#### **4.2.1.7 Mögliche Probleme und Schwierigkeiten**

Wie im vorherigen Kapitel zuvor beschrieben, eignet sich das IFC besonders für Koordinations- und Abstimmungsaufgaben. Davon profitieren auch Tragwerksplaner, die mit Architekten und weiteren Fachingenieuren ihre Modelle, Ergebnisse und Planungen austauschen können. Auch wenn sich das IFC mittlerweile für viele Projektbeteiligte in der Planung, Ausführung und dem Betrieb von Gebäuden etabliert hat, hat sich das IFC in der Tragwerksplanung nur in den zuvor aufgezählten Anwendungsfällen wirklich durchgesetzt. Hauptsächlich in der Tragwerksanalyse werden immer noch beim Austausch von Bauwerksdaten zwischen Architektur- und Statikprogrammen proprietäre Schnittstellen oder native Dateiformate wie DXF und DWG eingesetzt. Nur die wenigsten Ingenieure bauen oder leiten ihre statischen Systeme mithilfe eines IFC-Formats ab. Nachfolgend werden einige Gründe genannt, warum das IFC Probleme in der Welt der baustatischen Berechnungen von Bauwerken hat und welche Schwierigkeiten dabei besonders häufig auftreten.

### **Physikalisches Strukturmodell und idealisiertes Analysemodell**

IFC-Modelle werden meist in BIM-Autorenprogrammen erstellt und können auch das Tragwerksmodell darstellen. Die tragenden Bauteile liegen dabei als physikalisches Strukturmodell vor, welches in Lage und Form dem späteren realen Volumenmodell entspricht. In der Baustatik werden die tragenden Bauteile auf vereinfachte und idealisierte Stäbe und Flächen reduziert und bilden daher ein idealisiertes Analysemodell. Diese zwei unterschiedlichen Modelle können auch in den IFC-Views berücksichtigt werden. Während der Coordination- und Reference View ein Modell mit seinen physischen und geometrischen Eigenschaften als Volumenkörper beschreiben, beziehen sich die analytischen Tragwerkselemente beim Structural Analysis View auf ihre Achsen. Die untenstehende Grafik vergleicht den Coordination View mit dem Structural Analysis View. [15] [57]

Die vereinfachten statischen Systeme idealisieren zum Beispiel eine Stütze mit ihren geometrischen Parametern Länge, Breite und Höhe zu einem 1D-Stab mit Querschnittseigenschaften (Länge und Breite) mit der entsprechenden Höhe. Hier entsteht schon der erste Konflikt, der sich auf weitere Anwendungsszenarien hinsichtlich der unterschiedlichen Views beim Datenaustausch von IFC-Dateien zwischen Architektur und Tragwerksplanung erstreckt. Demzufolge arbeiten beide Fachplaner mit verschiedenen Fachmodellen. So arbeitet der Objektplaner für gewöhnlich mit physischen Gebäudemodellen (CV & RV) und der Statiker mit idealisierten Analysemodellen (SAV). [57]

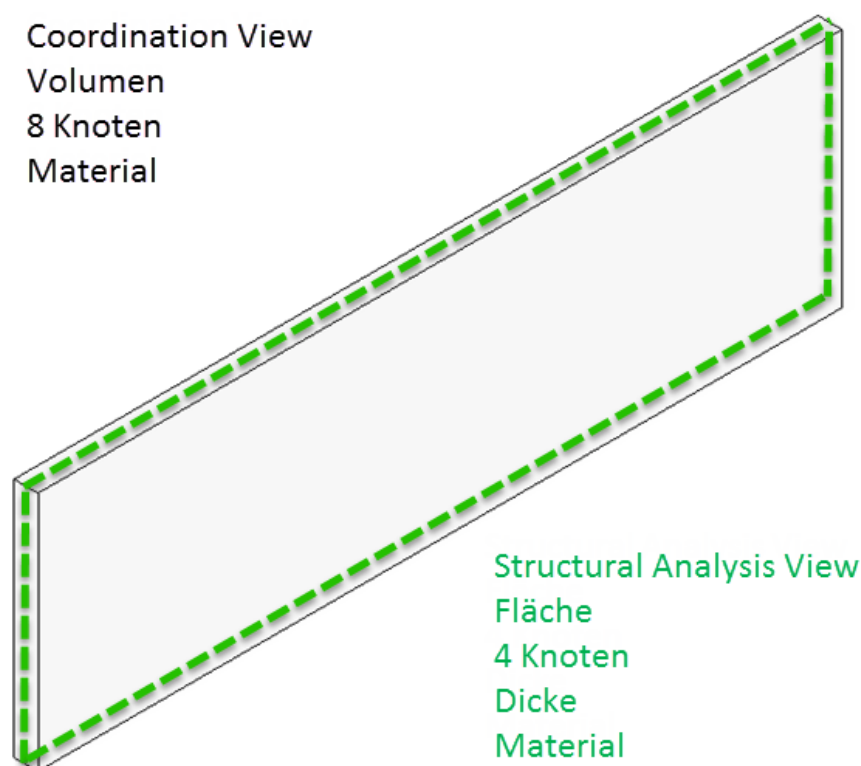


Abb. 4.12 Unterschied zwischen VC und SAV an einer Wand [57]

Anhand eines einfachen Beispiels auf der nächsten Seite sollen nochmal beide Views gegenübergestellt werden. Das Beispiel symbolisiert eine Konstruktion bestehend aus zwei Wänden und einer Decke. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass selbst für den Structural Analysis View ein berechenbares System nicht ohne weiteres entstehen kann. Demzufolge muss hier manuell nachgearbeitet werden.

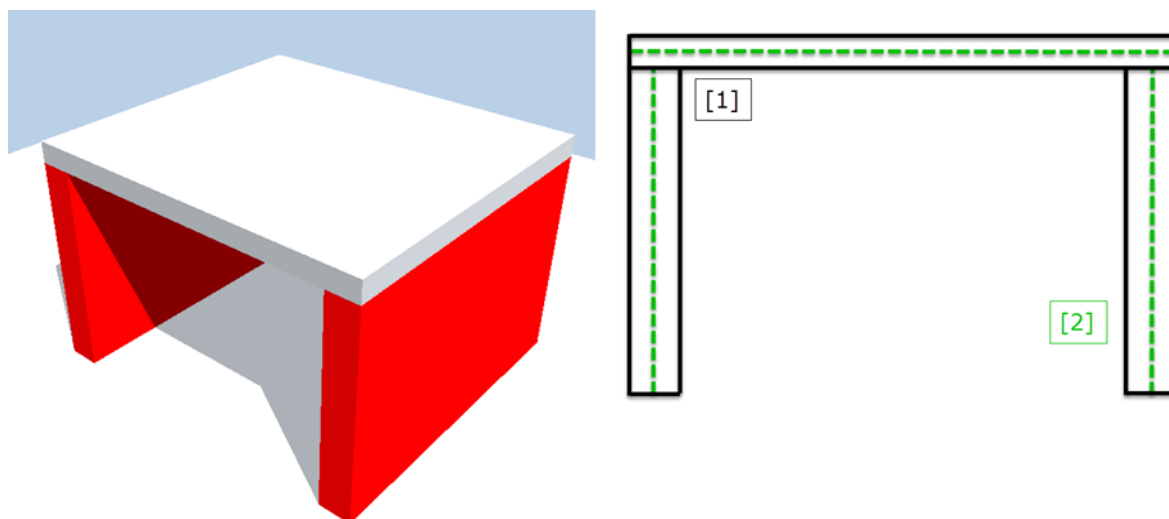


Abb. 4.13 Gegenüberstellung der Fachmodelle / Views [37]  
1. Coordination View (CV) – physisches Architekturmodell  
2. Structural Analysis View (SAV) – analytisches Tragwerksmodell

In der Praxis besteht der bekannte Irrglaube, exportierte IFC-Daten aus einem Statikprogramm könnten auch in dem CAD-Programm problemlos eingelesen werden. Spätestens nachdem der Anwender beim Import nur Linien, wenn überhaupt etwas in seinem CAD-Programm vorfindet, wird schnell festgestellt, dass Architektur- und Statikprogramme zwei unterschiedliche Sprachen sprechen. Da die CAD-Programme normalerweise keine Möglichkeit besitzen, IFC-Daten im SAV zu importieren, können keine Informationen aus dem Statikprogramm an die CAD-Software übermittelt werden. Machbar wäre dies nur durch die Bereitstellung eines Exports der Statikprogramme für referenzierte IFC-Modelle (CV oder RV). Allerdings bieten momentan nur die wenigsten Statikprogramme den Export von Referenzmodellen an. Wenn überhaupt, wird der Export des Structural Analysis Views unterstützt, der sich zwar nicht für CAD- aber für andere Statikprogramme eignet.

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass der IFC SAV in der CAD-Branche nie angekommen ist. Daher haben einige Softwareunternehmen aus der Tragwerksbranche Optionen entwickelt, wie der Datenimport von IFC-Dateien im Coordination View oder Reference View dennoch funktioniert. Hierfür werden die Importdaten zunächst in eine Ebene zur reinen Darstellung der Objekte ohne Erzeugung von Modelldaten für das Berechnungsmodell übergeben. Im Nachgang können daraus native Statikobjekte erstellt werden, sodass Volumenobjekte in Stäbe oder Flächen umgewandelt werden können und die richtigen Materialkennwerte erhalten. [75]



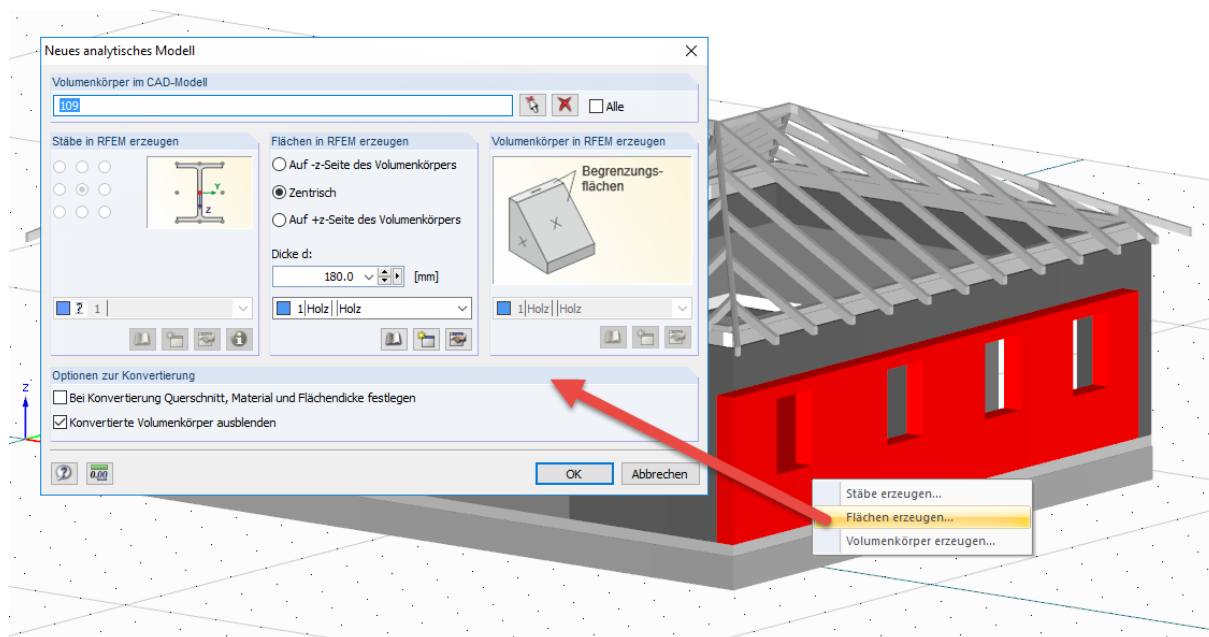


Abb. 4.14 Konvertierung eines architektonischen Volumenkörpers in eine Fläche in RFEM 5 [57]

Diese Hilfestellung erleichtert zwar die Konvertierung zu statischen Elementen, nur sind, bedingt durch die unterschiedlichen Views, häufig tragende Bauteile wie Stützen, Wände und Decke nicht miteinander verbunden. Dies liegt an der Umwandlung von physischen 3D-Volumenobjekten zu 1D- bzw. 2D-Analyseelemente. So kann es durchaus vorkommen, dass ein importiertes IFC-Modell in den Statikprogrammen gelesen werden kann, die Bauteile jedoch nicht miteinander verknüpft sind und diese in der Luft schweben.

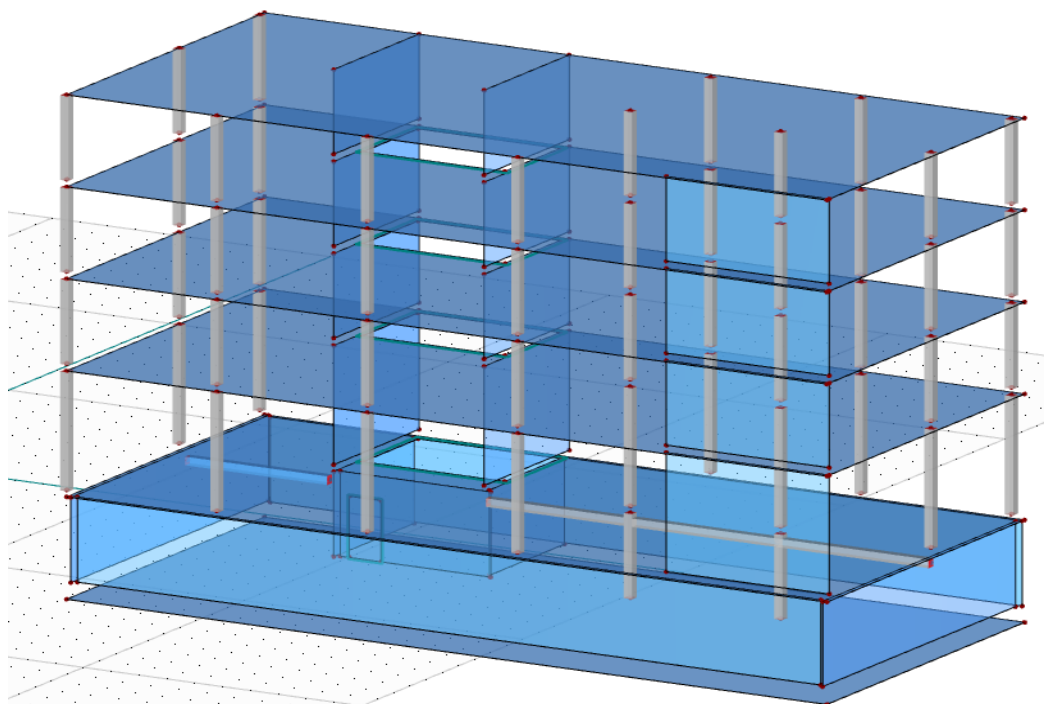


Abb. 4.15 Analytisches Modell in RFEM nach einem IFC-Import mit nicht verbundenen Tragwerkselementen [84]

Wie zuvor erläutert, ist das Umwandeln von geometrischen Volumenmodellen in statische Analysemodelle nicht ohne weitere Nachbearbeitungen vollständig umsetzbar. Eine weitere Tatsache verschärft diese Situation, denn CAD-Programme bilden ihre Strukturelemente meist als Volumenkörper ab. Eine einfache Rechteckstütze würde dahingehend aus zwölf Linien und sechs Flächen bestehen. Das nachfolgende Bild zeigt die Gegenüberstellung eines Volumens und eines Stabes.



Abb. 4.16 Gegenüberstellung Volumen – Stab [64]

Das Volumen kann dabei entweder über Berandungsflächen (BREP) oder als „aufgezogener Körper“ (Swept Solid) definiert werden. Die Herausforderung besteht nun darin, aus diesem 3D-Element ein 1D-Element zu generieren, das meist nur gelingt, wenn die Volumenkörper als Swept Solid erzeugt werden. Hierbei beschreibt die „Face“ den Querschnitt, der über die Richtung und Länge extrudiert wird. Abschließend wird darauf hingewiesen, dass eine korrekte Umwandlung seitens der Statikprogramme nicht immer sichergestellt werden kann. [64]

Insgesamt kann festgehalten werden, dass der größte Nachteil eines IFC das Konvertieren eines Volumenmodells in ein Analysemodell ist. Die Qualität der ausgetauschten Daten ist oftmals zu mangelhaft und das Ergebnis nur wenig zufriedenstellend. Die Umwandlung ist zwar über Umwege möglich, aber nicht komplett reibungslos. Der dafür aufgebrauchte Zeitaufwand zur Richtigstellung des Statikmodells, ist manchmal so hoch, dass das Modell sogar komplett neu erzeugt wird und das IFC-Modell nur als Referenzkontrolle dient. Die derzeit oft auftauchenden Fehler und Verluste führen dazu, dass viele Statiker in einem Closed BIM-Szenario die direkten Schnittstellen bevorzugen, weil der Austausch sowohl in die eine Richtung (Import) als auch in die andere Richtung (Export) meist fehlerfrei gelingt. Mit dem gewünschten Open BIM hat es dann aber nur noch bedingt etwas zu tun.

### **Keine Implementierung des IFC Structural Analysis View in der CAD-Welt**

Eine naheliegende Verbesserung bezüglich eines Datenaustausches zwischen BIM-Autor und Tragwerksplaner wäre die Implementierung des IFC SAV in den CAD-Programmen. Nur liegt der Schwerpunkt von BIM- und CAD-Programmen größtenteils auf der architektonischen Seite, sodass korrekte dreidimensionale Abbildungen von Bauwerken, Planerstellungen und Visualisierungen eher von Interesse der CAD-Anwender sind. Die Übertragung von statisch relevanten Informationen wird daher für die CAD-Hersteller als nicht wichtig angesehen. Zudem gibt es nur wenige CAD-Programme, die intern ein Analysemodell mitführen, dessen Export in ein Statikformat lohnenswert wäre.

Das größte Hindernis bei der Implementierung von IFC SAV in der CAD-Welt ist das Erfordernis eines völlig anderen Modells. Da IFC SAV ein analytisches Modell mit seinen Eigenschaften beschreibt, ist es schwierig, dieses in einer gewöhnlichen CAD-Anwendung zu erstellen. Demzufolge ist es aktuell bei keinen CAD-Applikationen möglich, ein statisches Modell mit Stab- und Flächenelementen, Lasten, Lastfällen und Lagerbedingungen als IFC SAV auszugeben und einzulesen. Aufgrund der eingeschränkten Programmoptionen müssen die Tragwerksplaner in einer BIM-basierten Planung immer wieder auf proprietäre Formate ausweichen, die sie zum Importieren und Weitergeben ihrer Modelle benutzen.

Wirtschaftlich gesehen kann die vermisste Implementierung mit einem durchwachsenden Angebot der Statiksoftwarefirmen, aber auch mit einer mangelnden Nachfrage der Anwender begründet werden. Der Bedarf für einen Transfer von analytischen Modellen

zwischen einzelnen Statikprogrammen ist relativ begrenzt. Lediglich der Austausch zwischen Aufsteller und Prüfer oder ein Austausch innerhalb einer Firma zum Gegenrechnen von komplexeren Modellen zur Qualitätssicherung wären denkbare Use Cases. In beiden Fällen müssen aber in der Regel zusätzlich Pläne oder ein BIM-Volumenmodell bei einem Austausch mitgeliefert werden, damit die Vereinfachungen, die in einem analytischen Modell getroffen werden, interpretiert werden können. Ohne den Kontext (Schalplanmodell) zu kennen, ist das analytische Modell allein nicht ausreichend. Anders würde es sich verhalten, wenn in dem Austauschformat Ergebnisse abgelegt werden können, wodurch dann Use-Cases wie „Berechnen in Programm A“ → „Nachweis in Programm B“ umgesetzt werden können, was in der täglichen Praxis der Ingenieurbüros doch oft vorkommt. Aber Ergebnisse sind im IFC-SAV aktuell nicht vorgesehen.

Das Format wurde daher in der Vergangenheit zu wenig benutzt und zu einer Zeit entwickelt, in der eine BIM-basierte Tragwerksplanung noch in den Kinderschuhen steckte. Die Zeit war damals in den 2000ern noch nicht reif. Vielen Ingenieuren ist auch gar nicht bekannt, dass es beim IFC unterschiedliche Views gibt und die Statikprogramme nur den Structural Analysis View besonders gut verarbeiten können. Mit der Zeit hat sich dahingehend auch der Ruf entwickelt, dass die Ergebnisse eines IFC-basierten Datenaustausches mit Statikprogrammen unzufriedenstellend sind. Insofern hat sich die CAD-Branche angesichts fehlenden Interesses mit der Implementierung des Structural Analysis Views nie wirklich auseinandergesetzt. Deshalb versank das IFC SAV zunehmend in der Bedeutungslosigkeit.

### **Keine Weiterentwicklung und Verbesserung des IFC SAV**

Mit der schwachen Nachfrage vom Markt erschließt sich auch das geringe Bestreben zur Weiterentwicklung und Verbesserung des IFC SAV. Solange das Format in der Praxis nicht verwendet wird, besteht auch keine Notwendigkeit, das IFC SAV weiterzuentwickeln. Die Gemeinschaft der Tragwerksplaner und Statiker hat nur einen geringen bis keinen Bedarf am IFC SAV zum Austausch ihrer Fachmodelle bekundet. Somit stand der Aufwand nicht im Verhältnis zum erhofften Nutzen und die Weiterentwicklung wurde weitestgehend eingestellt, auch weil der Mittelpunkt beim IFC später auf andere Bereiche wie TGA und HLS gelegt wurde. Folglich konzentrierte sich buildingSMART auf den Coordination View und der SAV wurde nicht mehr weiterentwickelt.

Zudem vertritt der Autor auch die Meinung, dass es bei einem organisierten Verein wie buildingSMART schlicht keine Ressourcen gab, die eine Weiterentwicklung vom SAV vorantreiben hätten können.

Aus diesen Gründen gingen die Statiksoftwarehersteller folglich mit größeren CAD-Firmen wie Tekla oder Autodesk Kooperationen ein. Daraus ergaben sich die direkten Schnittstellen, die viel flexibler und abgestimmter waren als das IFC-Datenformat. Damit wurde unter den Statiksoftwareherstellern wie Dlubal, Sofistik, Computers and Structures, Bentley, usw. ein Großteil des Marktes abgedeckt. Die Frage, warum noch eine IFC-Schnittstelle entwickeln, erschloss sich vielen Software-Firmen aus dem Bereich CAD/BIM somit nicht. Die Statikprogrammhersteller sahen die Übergabe von CAD zu Statik und umgekehrt als primären Anwendungsfall, den Datentransfer von Statik zu Statik eher weniger. Zumal die Softwaresysteme zuweilen sehr unterschiedlich arbeiten, was eine allgemeine Schnittstelle nur sehr schwer berücksichtigen kann.

### **Komplexes, großes und schwer lesbares IFC-Format**

Mit dem sehr mächtigen IFC-Datenmodell hängt leider auch ein sehr komplexes Datenmodell zusammen. Das Ziel, möglichst viele Disziplinen und Bauwerksinformationen abzudecken, führt oftmals zu sehr großen Dateien, die schwer nachvollziehbar sind. Ein grundlegendes Problem bei vielen Architekten und BIM-Autoren ist, dass häufig einfach nur auf den Export-Button gedrückt wird, ohne entsprechende Layer bzw. Teilinhalte ausgewählt zu haben und somit ein Modell der gesamten Planung herausgegeben wird. Zahlreiche irrelevante Informationen sind dabei enthalten und sorgen für eine hohe Datendichte des Gesamtmodells. Beispielsweise werden unnötige Möblierungen, Bäume und Sanitäranlagen als Objekte exportiert, sodass das Sortieren und Überprüfen des Tragwerksmodells in einem Viewer unnötige Zeit kostet und in einer hohen Fehleranfälligkeit resultieren kann. [65]

Zwar können IFC-Dateien mit Texteditoren geöffnet und dementsprechend bearbeitet werden, jedoch ist die Sprache lediglich für geübte Softwareingenieure sowie Computerprogrammierer zu verstehen. Daher ist sie für den alltäglichen Gebrauch in der Tragwerksplanung nicht verwendbar. Zu kompliziert gestaltet sich das Lesen des Quellcodes von IFC-Dateien. Hier muss ständig zwischen den Zeilen gewechselt werden, um einen Überblick beizubehalten und verknüpfte Objektelemente zu finden. Die auf der nächsten Seite befindliche Abbildung verdeutlicht dieses Phänomen. Ein einfacher 2D-Rahmen wurde im 3D-FEM-Programm RFEM 6 erstellt und die exportierte IFC-

Datei wurde anschließend in einem Texteditor geöffnet. Hier kann schon erkannt werden, dass die IFC-Datei zwar mit Kommentaren im Quellcode hinterlegt ist, doch zu rechtfinden können sich hier nur die wenigsten Ingenieure, gerade wenn die Praxis mit deutlich größeren Tragwerken zu tun hat.

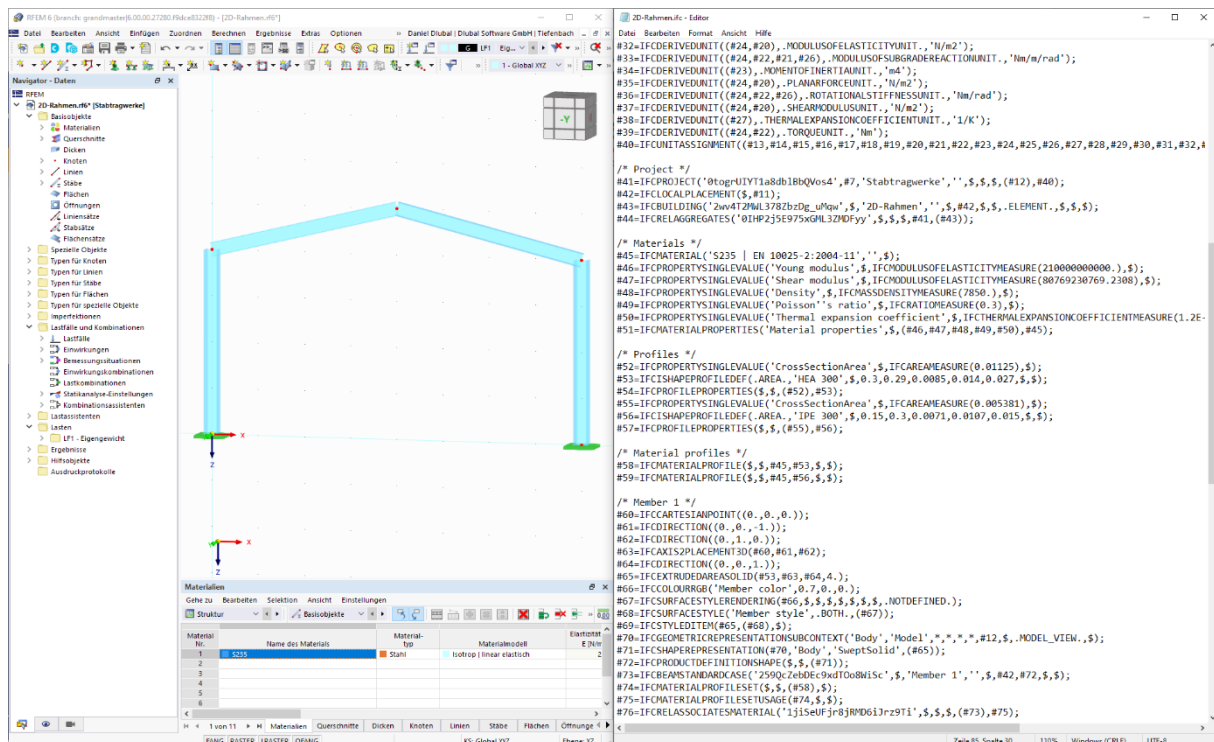


Abb. 4.17 Ein einfach exportierter 2D-Rahmen aus RFEM 6 und die dazugehörige IFC-Datei

## Zeitaufwendige Einarbeitung des IFC-Formats in den Softwarehäusern

Ein weiterer Nachteil des IFC-Formats aus Sicht der Softwarehäuser ist die mühsame Implementierung. Aufgrund der komplexen sowie sehr allgemein gehaltenen Datenstruktur und der Fülle an mitgelieferten Bauwerksinformationen, benötigen die Programmierer der Softwareunternehmen ausgesprochen lange für die Entwicklung einer gut funktionierenden Import- und Export-Schnittstelle. Da statisch relevante Objekte nicht im Mittelpunkt von IFC stehen, ist das Format dahingehend auch nicht optimal für Statikprogramme geeignet, weil eine Vielzahl an wichtigen Features und Daten durch den Export verloren geht, wie z. B. Gelenke, Fugen oder Berechnungs- und Bemessungsergebnisse.

Aus der Industrie gibt es immer wieder Stimmen, die den durchgehenden Datenaustausch zwischen CAD- und Statik-Software bemängeln. Trotz dieser Kritik muss beachtet werden, dass alle Softwarehersteller unterschiedliche Philosophien im Hinblick

auf ihre Funktionalitäten vertreten. Jede Softwareapplikation arbeitet mit eigenen spezifischen Datenbanken und baut auf proprietären Datenstrukturen auf. Aufgrund mangelnder offizieller Richtlinien, Normen und Festlegungen können die Informatiker bei der Umsetzung nicht gleich alle Eventualitäten berücksichtigen. So fehlen beispielsweise an bestimmten Stellen im IFC-SAV Standards, wie zum Beispiel Tabellen für Stahlprofile.

### **Langwierige und kostspielige Zertifizierung von BIM-Software**

Zur Sicherstellung eines möglich hohen Qualitätsniveaus bietet die Organisation buildingSMART eine unabhängige Überprüfung und Zertifizierung der IFC-Schnittstelle bei Softwareherstellern an. Da eine hohe Anzahl an BIM-Softwaresystemen den Import und Export von IFC-Dateien bereits unterstützt, kann durch die Zertifizierung eine hohe Qualitätssicherung sowohl bei den Anwendern als auch bei den Softwareanbietern gewährleistet werden. [10]

Trotzdem scheuen sich die meisten kleinen bis mittelgroßen Softwareunternehmen, diesen Schritt durchzuführen. Zu groß ist das Risiko, den doch recht hohen Preis von mehr als 50.000,00 € für die Zertifizierung zu bezahlen. Ein Blick auf die bereits zertifizierten Softwarefirmen und deren Produkte bestätigt diese Tatsache. [85] Mit der Dlubal Software GmbH und dem Unternehmen Nemetschek SCIA gibt es nur zwei Statiksoftwarehersteller, die sich für einen IFC CV 2.0 der Version IFC 2x3 zertifizieren haben lassen. Außerdem kostet eine externe und unabhängige Zertifizierung nicht nur Geld, sondern auch Zeit, und muss die Qualität der IFC-Schnittstelle nicht unbedingt wesentlich verbessern. Deshalb stellt sich die Frage, warum nicht mehr Entwickler aus der Baustatik die Chance wahrnehmen, durch eine Zertifizierung für eine qualitativ hochwertige IFC-Schnittstelle zu sorgen. Durch die recht hohen Investitionskosten wird indirekt eine geringere Qualität der ausgetauschten IFC-Daten verursacht.



## Certified Software

Home » Compliance » Software Certification » Certified Software

buildingSMART International provides an ongoing platform and process to certify applications. A growing number of organizations have achieved certification of their products, as listed in the table below.

### Get IFC2x3 Certified



### Get IFC4 Certified



Search:

Vendor	Product	Schema	Exchange Requirement	Import / Export	Status	Started	Completed	Report (link)
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Structural Reference Exchange	Export	Finished	2017-08-29	2020-11-09	
DICAD Systeme GmbH	STRAKON	IFC4	Structural Reference Exchange	Export	Finished	2018-09-07	2020-11-02	
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Architectural Reference Exchange	Export	Finished	2017-08-29	2020-10-19	
TOPSOLID SAS	TopSolid	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2019-06-03	2019-12-06	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/903">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/903</a>
Trimble Solutions Corporation	Tekla Structures; ImportSDK (import)	IFC4	Structural Reference Exchange	Export	Finished	2017-10-02	2019-09-22	
NOVA Building IT GmbH	NOVA AVA BIM	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2018-01-27	2019-07-11	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/883">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/883</a>
ACCA Software S.p.A	usBIM.editor	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2019-04-12	2019-06-25	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/864">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/864</a>
GRAPHISOFT SE	ARCHICAD	IFC4	Architectural Reference Exchange	Export	Finished	2018-06-21	2019-06-05	
Vectorworks Incorporated	Vectorworks	IFC4	Architectural Reference Exchange	Export	Finished	2017-09-11	2019-04-17	
CADMATIC	CADMATIC Building	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Export	Finished	2015-06-22	2019-03-04	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/843">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/843</a>
BEXEL Consulting d.o.o.	Bexel Manager	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2017-08-17	2018-09-04	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/824">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/824</a>
VenturisIT GmbH	TRICAD MS	IFC 2x3	CV2.0-MEP	Export	Finished	2017-09-19	2018-09-03	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/823">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/823</a>
cadwork	cadwork 3D	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Export	Finished	2018-05-30	2018-08-31	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/803">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/803</a>
DATAflor AG	DATAflor BIM-MANAGER	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2018-01-27	2018-08-28	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/783">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/783</a>
Mc4Software Italla S.r.l.	Mc4Suite	IFC 2x3	CV2.0-MEP	Export	Finished	2017-09-25	2018-08-06	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/763">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/763</a>
ACCA Software S.p.A	usBIM.platform	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2018-04-10	2018-06-28	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/743">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/743</a>
ACCA Software S.p.A	EdiLus	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Export	Finished	2017-07-07	2018-06-05	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/723">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/723</a>
Teamssystem S.p.A.	STR Vision CPM	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2016-10-31	2018-02-22	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/703">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/703</a>
ACCA Software S.p.A	CerTus-IFC	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2017-09-09	2018-01-27	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/683">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/683</a>
cadwork	Lexocad	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished	2016-10-04	2017-05-23	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/603">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/603</a>
Glodon Software Company Limited	Glodon Takeoff for Architecture and Structure	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Export	Finished	2014-09-05	2017-01-06	<a href="https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/583">https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationReport/583</a>

Abb. 4.18 Ausschnitt der zertifizierten Programme [58]

## 4.2.2 SAF – Format

### 4.2.2.1 Allgemeines



Abb. 4.19 SAF – Logo [66]

Das Structural Analysis Format (SAF) ist ein Excel-basiertes Austauschformat für den Austausch von relevanten statischen Bauwerksdaten in der Tragwerksplanung. Es beinhaltet eine tabellenbasierte Datenbank von Geometrie-, Struktur- und Lastdaten in Excel, sodass das Lesen und Schreiben von Dateien durch CAD- und Statikprogramme erheblich vereinfacht wird. Dadurch soll auch der Import und Export von Analyse- und Statikmodellen einfacher vollzogen werden, weil die Daten hauptsächlich von den Statikprogrammen besser verarbeitet werden können. [66]

Auf Initiative der Nemetschek Group wurde der Baustatiksoftwarehersteller SCIA mit der Entwicklung des SAF-Formats betraut und wird seit 2018 entwickelt. Laut SCIA ist es als offenes Dateiformat zu verstehen und soll die Zusammenarbeit zwischen Tragwerksplanern und Architekten verbessern. Im Mittelpunkt steht ein praktisches, einfach zu benutzendes und verständliches Format, das in der täglichen Praxis von Statikern verwendet werden kann. [66]

Die nachfolgenden Informationen sind größtenteils aus Präsentationen, Veranstaltungen und Videoaufzeichnungen von SCIA. Die Website [saf.guide.com](http://saf.guide.com) [66] bietet zudem eine sehr genaue und übersichtliche Dokumentation des SAF-Formats an.

### 4.2.2.2 Motivation

Es gibt vorrangig drei Gründe für die Entwicklung eines neuen und jungen Formats. Der erstgenannte Anlass stützt sich auf die Mitteilungen von SCIA, die in mehreren Präsentationen ihr neues Format bei der Organisation buildingSMART oder beim Bundesverband Bausoftware (BVBS) vorgestellt haben. Die letzten zwei Gründe beruhen allerdings auf der Meinung des Autors, der durch die Arbeit eines Statiksoftwareherstellers auch andere Meinungen und Erfahrungen erlangen sowie einen Einblick in die Implementierung des SAF bekommen konnte.

## **Verbesserung des Workflows zwischen Tragwerksplaner und Architekt**

Bei der Entscheidung, ein neues offenes Austauschformat für die Tragwerksplanung zu entwickeln und den Austausch zwischen Architektur und Tragwerksplanung zu verbessern, orientieren sich die Entwickler am Markt der tätigen Ingenieure an zwei einfachen Fragen:

1. Welche Aufgaben wollen die Ingenieure bewältigen?
2. Was brauchen die Ingenieure dafür als Werkzeug?

Die Antworten auf beide Fragen lauten wie folgt:

### **1. Die Ingenieure benötigen für ihre Arbeit ein Format, das**

- a. ihre statischen Berechnungen mit anderer Statiksoftware vergleicht und verifiziert (Prüfstatik).
- b. ein Erstellen von Modellen mit komplexen Geometrien ermöglicht.
- c. ein parametrisches Erstellen von Modellen ermöglicht, vor allem in der Entwurfsphase.
- d. schnelle Änderungen im Modell ermöglicht.
- e. Statikprogramme mit Bemessungsprogrammen verknüpft.
- f. in CAD-Programmen integrierte Analysemodelle berücksichtigt.

### **2. Das Format sollte daher**

- a. einen einfachen und leicht verständlichen Austausch von Statikmodellen gewährleisten.
- b. für alle beliebigen Tragwerke in Stahl-, Stahlbeton-, oder Holzbauweise sowie in 1D, 2D oder 3D geeignet sein.
- c. für die Erstellung und Änderung von eigenen Modellen nützlich sein.
- d. für den Datenaustausch statischer Objekte verwendet werden.
- e. bevorzugt auf Excel aufgebaut sein.

Als Zwischenfazit lässt sich zusammenfassen, dass eine simple Sprache des Bauingenieurs die Bearbeitung und Erstellung von Statikmodellen deutlich erleichtert. So ist es aus Sicht der Hauptinitiatoren naheliegend, dass die Wahl eines einfachen auf Excel basierten Formats den Bedürfnissen und Ansprüchen der Tragwerksplaner entspricht. Wichtig dabei ist auch, dass es sich bei den meisten Statikern um Ingenieure handelt und nicht um Softwareexperten. Damit steht auch ein einfach zu verstehendes, lesbares und transparentes Format im Vordergrund. Excel ist daher für den Gebrauch bestens geeignet, zumal es die meistverwendete Funktion beim Import und Export von

Daten in den Statikprogrammen ist. Weiterhin ist jeder Ingenieur mit Excel vertraut und beherrscht das Programm größtenteils gut genug für die Bewältigung seiner täglichen Aufgaben.

### **Zu wenig unterstütztes IFC für die Baustatik und Tragwerksberechnung**

Bei der Weiterbearbeitung von Statikmodellen beruhend auf IFC-Dateien, stoßen die Anwender aktuell immer wieder an ihre Grenzen, da bei einem Datenaustausch zwischen zwei verschiedenen Softwaresystemen meistens Informationen verloren gehen. Derzeit kommunizieren nur die wenigsten Programme effektiv miteinander. Um für eine ausreichende Interoperabilität sorgen zu können und spezifische Programmfamilien näher zusammenbringen zu können, wäre das IFC als einheitliches Format zwar geeignet, behauptete sich allerdings aufgrund der im Kapitel 4.3.1.7 bereits erwähnten Punkte nicht in der Branche der Tragwerksplaner. Die komplizierte Sprache des IFC ist für den klassischen Ingenieur zu umständlich und nicht leserlich.

Durch die Tatsache, dass sich das IFC-Format in der Tragwerksplanung beim Austausch von Statikmodellen bislang nicht durchsetzen konnte und der IFC-SAV in der Vergangenheit keine breite Anwendung finden konnte, versuchte die Industrie das Thema Open BIM neu aufzugreifen. Mit der Veranlassung zur Entwicklung eines neuen offenen Formats wird eine Lösung zu einem reibungslosen Austausch von statischen Informationsmodellen angeboten, da es speziell auf die Tragwerksanalyse zugeschnitten ist.

### **Unternehmerische Entscheidungen**

Ein Blick auf die Tochtergesellschaften der Nemetschek Group verrät, dass durch das Angebot des SAF-Formats der Workflow in der BIM-orientierten Tragwerksplanung weiter optimiert wird und die Programme besser miteinander kommunizieren lässt. Neben den zahlreichen CAD-Unternehmen Allplan, Graphisoft (Archicad) und Vectorworks sind auch namhafte Statiksoftwarehersteller wie SCIA, Risa und FRILO Software vertreten. Alle bieten einen offenen BIM-basierten Datenaustausch in Form von IFC- und SAF-Dateien an. Dabei kann sogar das CAD-BIM-Programm Archicad von Graphisoft ein Analysemodell generieren, das als Grundlage für einen SAF-Export dient. Andere CAD-Hersteller gehen den Weg über die ebenfalls von Nemetschek unterstützte Kollaborationsplattform Bimplus und den SCIA AutoConverter, der ein automatisches Erzeugen eines Analysemodells in eine SAF-Datei mittels IFC-Daten durch-

führt. Dadurch ergeben sich flexible Möglichkeiten in der Softwarenutzung, da Architekten und Statiker sowohl mit IFC- als auch SAF-Daten arbeiten können. Anhand dieses unternehmerischen Konzepts versucht das Unternehmen Nemetschek möglichst alle Fachplaner mit einem breiten Softwareangebot anzusprechen, um auch weltweit wettbewerbsfähig auf dem Markt der Bausoftwarehersteller mit anderen Unternehmen konkurrieren zu können und einen optimalen Workflow anzubieten.

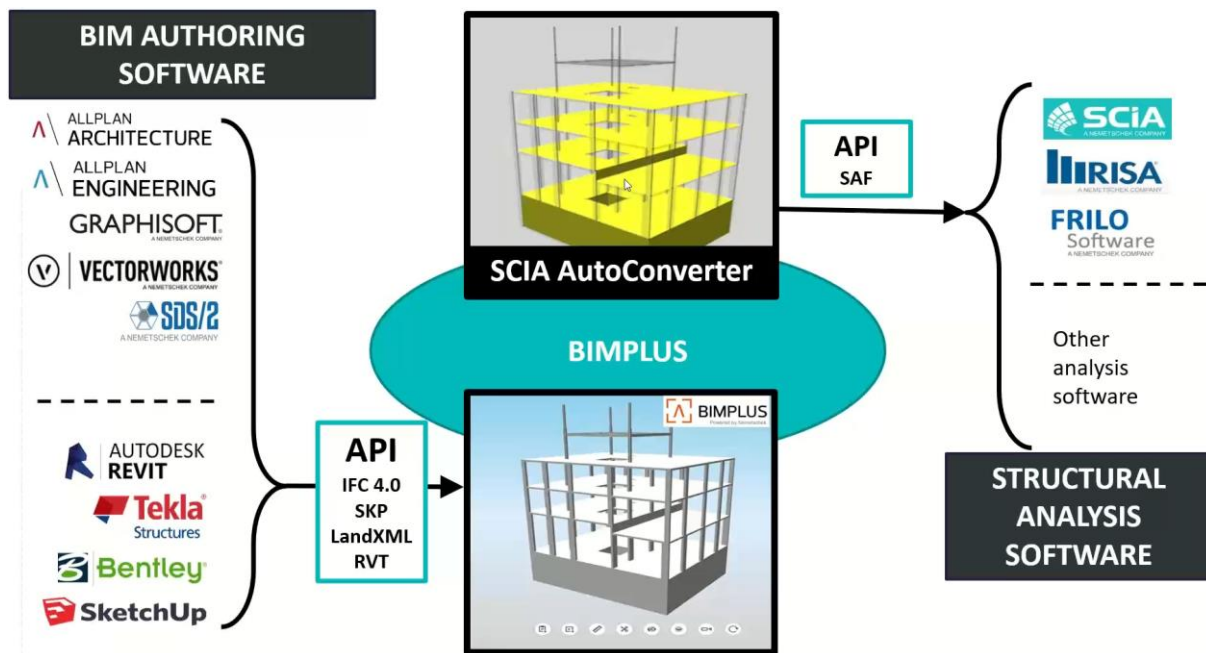


Abb. 4.20 Möglichkeiten zur Kommunikation zwischen BIM-Autoren- und Statikprogrammen vorwiegend ausgelegt innerhalb der Nemetschek Group [66]

#### 4.2.2.3 Aufbau und Struktur

##### Relationale Datenbank

Das tabellenbasierte SAF-Format ist als relationale Datenbank aufgebaut und wird als Exceldatei mit der Endung **\*.xlsx** geschrieben. Grundlage der relationalen Datenbank sind Beziehungen zwischen den Tabellen, womit unterschiedliche Objekte verknüpft werden können. Anhand eines einfachen Beispiels im Statikprogramm RFEM 6 wird die Relation zwischen **Knoten** und **Linien** beschrieben, wobei letztere wiederum Bestandteil einer **Fläche** sein können. Auch in RFEM 6 werden ähnliche Tabellen benutzt.

**Knoten**

Knoten Nr.	Knotentyp	Referenz-Knoten	Koordinatensystem	Koordinatentyp	Koordinaten		Optionen
					X [m]	Z [m]	
1	Standard	--	1 - Global XYZ	Kartesisch	0.000	0.000	
2	Standard	--	1 - Global XYZ	Kartesisch	0.000	-3.000	
3	Standard	--	1 - Global XYZ	Kartesisch	5.000	-3.000	
4	Standard	--	1 - Global XYZ	Kartesisch	5.000	0.000	

**Linien**

Linie Nr.	Knoten Nr.	Linientyp	Länge L [m]	Lage	Optionen	Kommentar
1	1,2	Polylinie	3.000	Auf Z		
2	2,3	Polylinie	5.000	X		
3	3,4	Polylinie	3.000	Z		
4	4,1	Polylinie	5.000	Auf X		

**Flächen**

Fläche Nr.	Begrenzungslinien Nr.	Strifflinientyp	Geometrietyp	Dicke Nr.	Material	Exzentrizität Nr.	Knoten Nr.	Integrierte Objekte	Öffnungen Nr.	Fläche A [m <sup>2</sup> ]
1	1-4	Standard	Ebene	1	2 - C30/37   Isotrop   linear elastisch	--	3			15.0

Abb. 4.21 Ein Beispiel einer tabellenbasierten relationalen Datenbank in RFE6 [84]

## Excel-Struktur

Eine SAF-Datei in Excel kann in vier grundlegende Komponenten unterteilt werden:

- Blatt (Sheet) → Objektelement
- Spalte (Column) → Attribut
- Zeile (Row) → Instanz
- Zelle (Cell) → Wert

In einem SAF-Format wird jeder Objekttyp in einem Blatt oder einer Liste (Sheet) hinterlegt. Jedes Blatt besteht aus Zeilen, Spalten und Zellen. Dabei repräsentiert jede Zeile eine neue Instanz bzw. einen neuen Eintrag, z. B. Knoten, Stab, Auflager, etc.

Zur besseren Eigenschaftsbeschreibung werden in jeder Spalte Attribute vergeben, wie bei der Objektdefinition *StructuralCurveMember* mit Stabtyp, Anfangs- und Endknoten. Die Zelle steht schließlich für einen Eigenschaftswert, wie z. B. 3 m (Länge), Stütze (Stabtyp) oder N24 (Knotennummer). Dort können die Werte in den Zellen folgende Datentypen annehmen:

- Double → Gleitkommazahl
- Integer → Ganzzahl
- Enum → Aufzählungstyp (Geordnete Auflistung aller Elemente in einer Sammlung; nur zulässige Werte aus den Blättern/Listen können eingegeben werden)
- String → Zeichenkette (Text oder einzelne Buchstaben)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Name	Cross sectie	Arbitrary definitio	Type	Nodes	Segments	Begin nod	End nod	Internal nod	Length [m]	Geometrical sha	LCS
2	B1	CS1	AD1	Column	N11;N12	Line	N11	N12		3,600	Line	Y by vector
3	B2	CS12		Column	N13;N14	Line	N13	N14		3,600	Line	Y by vector
4	B3	CS23		Column	N15;N17	Line	N15	N17		3,600	Line	Y by vector
5	B4	CS27		Column	N16;N18	Line	N16	N18		3,600	Line	Y by vector
6	B5	CS28		Column	N9;N12	Line	N9	N12		4,000	Line	Y by vector
7	B6	CS28		Column	N12;N14	Line	N12	N14		4,000	Line	Y by vector

Spalte = Attribut                      Zelle = Wert                      Blatt/Liste = Objekt

Abb. 4.22 Aufbau der SAF-Datei in Excel mit dem Objekttyp *StructuralCurveMember* [84]

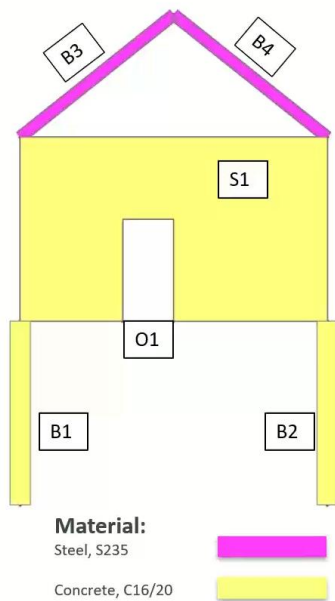
Im SAF werden zudem metrische und imperiale Einheiten unterstützt, die im Blatt *Model* definiert werden. Weiterhin spielen die Reihenfolge und Anordnung der Objekte in den Listen und Spalten keine Rolle für den Import. Wichtig jedoch ist, dass die korrekte Benennung konsequent zu befolgen ist, andernfalls kann es zu Import-Schwierigkeiten kommen.

## Objektbeziehungen

Basierend auf einer relationalen Datenbank können mehrere Objekttypen effektiv miteinander verknüpft werden. Das führt zu einer verständlichen und übersichtlichen Darstellung der Struktur- und Lastdaten. Besonders maßgebend sind die richtigen Bezeichnungen, um Referenzen zwischen den Objektelementen zu ermöglichen. Anhand eines einfachen Beispiels soll der Objekttyp *StructuralMaterial* untersucht werden. Dieser besteht aus zwei Materialien (C25/30 und S 235), die weiter als Bestandteile für weitere Objekttypen wie *StructuralCrossSection* (Querschnitt) und *StructuralSurfaceMember* (Fläche) benutzt werden.



STRUCTURAL MATERIAL



	A	B	C	D
1	Name	Type	Subtype	Quality
2	C25/30	Concrete		C25/30
3	S 235	Steel		S 235
4				

	A	B	C
1	Name	Material	Cross-section Typ
2	CS1	C25/30	Parametric
3	CS2	S 235	Manufactured
4			

	A	B	C
1	Name	Cross sectio	Arbitrary definitio
2	B1	CS1	
3	B2	CS1	
4	B3	CS2	
5	B4	CS2	

	A	B	C
1	Name	Material	Type
2	S1	C16/20	Wall
3			

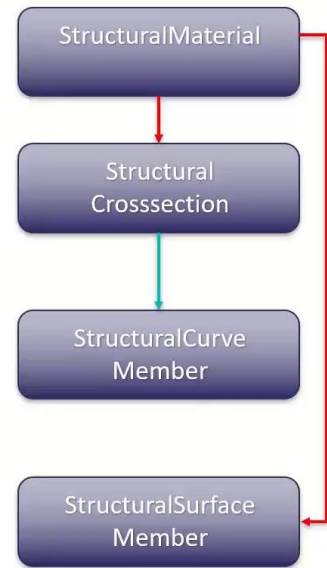


Abb. 4.23 SAF Objektrelation beim Objekttyp StructuralMaterial [66]

Unique ID's

Das SAF bietet auch die Möglichkeit, Unique ID's mitzuführen. Hierbei werden für jedes Objekt eindeutige und zufallsgenerierte ID-Nummern vergeben. Das kann für Roundtrips mit geänderten Modell- oder Lastdaten bei einem Austausch mit anderen Softwaretools verwendet werden, die ebenfalls das SAF-Format unterstützen. Bei gleichbleibenden ID's wird das Objektelement dementsprechend erkannt und nicht nochmal neu erstellt, sondern nur angepasst. Das Ausfüllen der Zellen mit ID's ist für das Austauschformat nicht zwingend erforderlich.

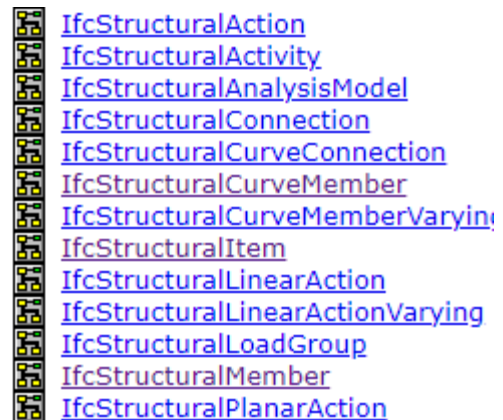
	A	B	C	D	E
1	Name	Type	Subtyp	Quality	Id
2	MAT1	Concrete		C20/25	cf4b6b4d-98d8-478c-83b7-f43b772d532f
3	MAT2	Concrete		C25/30	e2b9b87d-a4a5-4406-bf88-749282425e1e
4	MAT3	Concrete		C30/37	5c568409-a1e6-407a-ad4d-5baaf70ba531
5	MAT4	Steel		S235	058e48be-dbab-43e1-90df-8403974467b5
6	MAT5	Steel		S355	85b2a56c-2b28-4b35-a531-906e5951624a
7	MAT6	Aluminium		EN-AW 5083	f81d1c73-aaed-48bf-8ed5-3a72e8d9d151
8	MAT7	Aluminium		EN-AW 8011A	15a5f605-a55e-4d54-bbae-2a95077c2034
9	MAT8	Timber		D30 (EN 338)	900d3d56-24c6-4917-98a6-598ec8c5e2ae
10	MAT9	Timber		C22 (EN 338)	542e57c6-3722-4746-9f51-ba76bb16e7cf
11	MAT10	Timber		GL 30c (EN 14080)	7dd6a582-1350-43b5-b0b4-f4d6b562cf3e
12	MAT11	Masonry		Masonry	85300d82-77cb-4c0c-9df6-9929f2159801
13	MAT12	Other		Other	bc64d45a-39c0-439f-80a8-9cdd5081c062

Abb. 4.24 Unique ID's im SAF-Format [84]

## Ähnlichkeiten zu IFC-Tragwerksbezeichnungen

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass die meisten Objektbezeichnungen den gleichen Namen wie in einer IFC-Datei besitzen. Das ist beabsichtigt, um Ähnlichkeiten zum IFC schneller zu erkennen und eine gewisse Beziehung aufzubauen.

Abb. 4.25 IFC-Entitäten für Tragwerkselemente [92]



## Koordinatensystem

Eines der Kernprobleme bei der Entwicklung des SAF-Formats ist, dass jede Software über ein eigenes lokales Koordinatensystem (kurz: LKS) für Querschnitte verfügt. Wenn nun zwei Programme ein unterschiedliches LKS für ihre Profile definieren, kann es durchaus passieren, dass die Querschnitte beim Import einer SAF-Datei im anderen Programm um 90 Grad falsch gedreht sind, da im Ausgangsprogramm mit einem anderen LKS gearbeitet wurde. Um das zu verhindern, werden im SAF unterschiedliche LKS bereitgestellt und die Softwarehersteller müssen diese bei ihrem Import und Export nur richtig zuweisen.

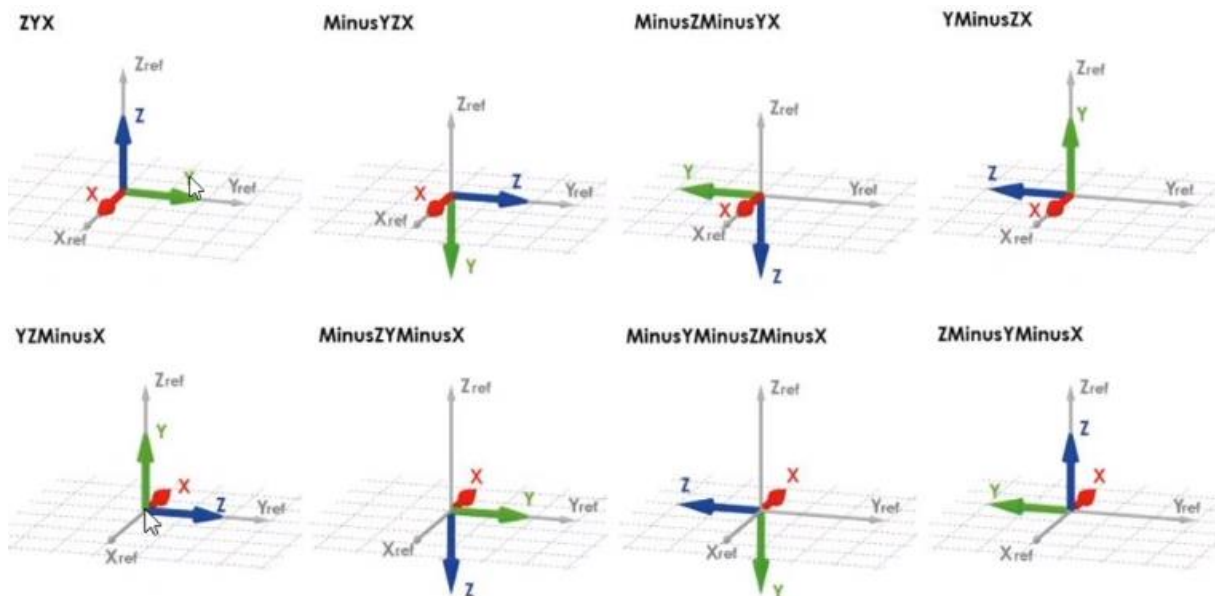


Abb. 4.26 Verschiedene unterstützte lokale Koordinatensysteme im SAF [66]

## Geometrie

Die Geometrie eines Modells und weitere Konstruktionselemente werden über Linien definiert. Sie sind notwendig für die Erstellung von Stäben und Flächen. Dabei unterstützt das SAF eine große Anzahl an geometrischen Linientypen, wobei jede Linie durch einen Anfangs- und Endknoten beschrieben wird. Spezielle Linientypen enthalten noch weitere Zwischenknoten. Folgende Geometriertypen können laut untenstehender Darstellung abgebildet werden.

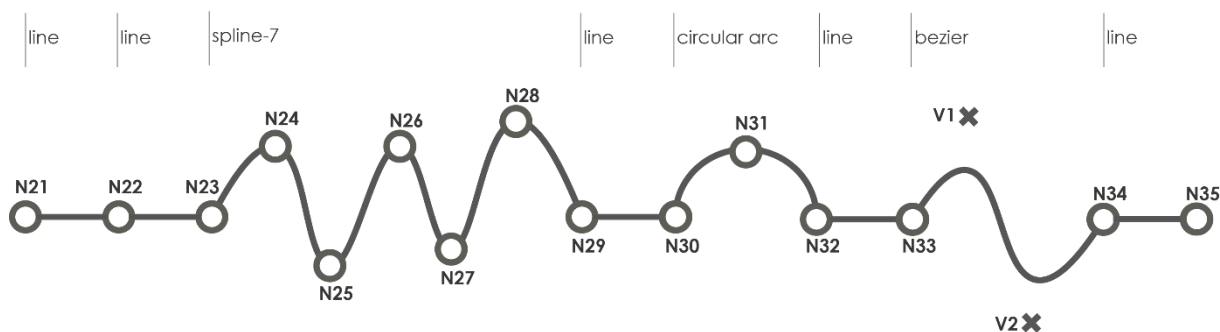


Abb. 4.27 Geometrische Linientypen im SAF [66]

## Unterstützte Elementtypen

Aktuell (Stand: August 2021) werden folgende drei Basiskategorien bezüglich der Elementtypen unterstützt:

- Tragwerkselemente (Structural Analysis Elements), z. B. Material, Querschnitt, Stab, Rippe, Fläche, Geschoss
- Lager und Gelenke (Supports and Hinges), z. B. Knotenlager, Flächenverbindung, Kantenverbindung
- Lasten (Loads), z. B. Lastgruppe, Lastfall, Lastkombination, Einzellast, Stablast, Flächenlast

Für den alltäglichen Gebrauch sind somit genügend Typen für die einfache statische Modellierung und Berechnung vorhanden.

STRUCTURAL ANALYSIS ELEMENTS	SUPPORTS AND HINGES	LOADS
StructuralMaterial	StructuralPointSupport	StructuralLoadGroup
StructuralCrossSection	StructuralSurfaceConnection	StructuralLoadCase
CompositeShapeDef	StructuralCurveConnection	StructuralLoadCombination
StructuralPointConnection	StructuralEdgeConnection	StructuralPointAction
StructuralCurveEdge	RelConnectsStructuralMember	StructuralPointMoment
StructuralCurveMember	RelConnectsSurfaceEdge	StructuralCurveAction
StructuralCurveMemberVarying	RelConnectsRigidCross	StructuralCurveMoment
StructuralCurveMemberRib	RelConnectsRigidLink	StructuralSurfaceAction
StructuralSurfaceMember	RelConnectsRigidMember	StructuralSurfaceActionThermal
StructuralSurfaceMemberOpening		StructuralCurveActionThermal
StructuralSurfaceMemberRegion		StructuralPointActionFree
StructuralStorey		StructuralCurveActionFree
StructuralProxyElement		StructuralSurfaceActionFree
		StructuralSurfaceActionDistri

Abb. 4.28 Bislang unterstützte Elementtypen des SAF-Formats [66]

Nun soll der Elementtyp Querschnitt bzw. *StructuralCrossSection* genauer untersucht werden. Querschnitte bilden mit den Materialien die Grundlage für den Objekttyp Stab. Dabei können verschiedene Querschnittsformen festgelegt werden, darunter Walzprofile, zusammengesetzte Querschnitte, parametrisierte Querschnitte oder beliebige Querschnitte, die mittels Polygonen definiert werden. Mithilfe sogenannter *Formcodes*, können auch die lokalen Achsensysteme der Profile sowie unterschiedliche Profilbezeichnungen aus unterschiedlichen Programmbibliotheken richtig zugeordnet werden. Darüber hinaus können auch Stäbe mit variierenden Querschnitten und veränderlichem Querschnittsverlauf, wie Vouten definiert werden. Dadurch wird ein großes Spektrum an möglichen Querschnitten und deren Variationen bereitgestellt.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	Material	Cross-section Typ	Shape	Parameters [mm]	Profile	Form cod
2	CS1	MAT1	Parametric	Rectangle	250;200		
3	CS2	MAT2	Parametric	I section	1000;350;250;150;150;100		
4	CS3	MAT3	Parametric	T section	550;350;100;120		
19	CS18	MAT9	Parametric	Double rectangle	220;280		
20	CS19	MAT6	Parametric	Tube	200;100;9;6;12		
21	CS20	MAT7	Parametric	Pipe	150;8		
22	CS21	MAT6	Parametric	Angle	500;300;25;25;15		
23	CS22	MAT7	Parametric	Channel	50;25;4;6;3		
24	CS23	MAT6	Parametric	T tee	120;80;6;6;3		
25	CS24	MAT7	Parametric	Rectangle	30;30		
26	CS25	MAT11	Parametric	Rectangle	450;300		
27	CS26	MAT4	Manufactured			IPE180	1
28	CS27	MAT4	Manufactured			IPE180	1
29	CS28	MAT4	Manufactured			IPE180	1
30	CS29	MAT2	General			general1	

Abb. 4.29 Unterstützte Querschnittsformen in einer SAF-Datei [84]

#### 4.2.2.4 Versionen und Entwicklungen

Angefangen mit dem ersten Prototyp und der **Version 1.0.0** im Jahr 2019 wurden bis zur Version 1.1.0 die elementarsten Objektdefinitionen zur Verfügung gestellt. Die meisten Statiksoftwarehersteller haben momentan (Stand: August 2021) die **Version 1.0.5** implementiert. Mit der Zeit wurden weitere Verbesserungen hinzugefügt. Ende des Jahres 2020 wurde mit der Veröffentlichung der aktuellen **Version 2.0.0** auf eine semantische Versionierung der Dokumentation umgestiegen. Diese erleichtert die Implementierung und stellt auch die zukünftige Kompatibilität zwischen den Versionen klar fest.

#### 4.2.2.5 Chancen, Möglichkeiten und Vorteile

Das Format SAF deckt mit der Beschreibung von Materialien und Querschnitten, Modellgeometrien, Lasten und Auflagern einen großen Teil der für die Tragwerksanalyse erforderlichen Statikdaten ab. Dies ermöglicht Tragwerksplanern, vollständig in den BIM-Workflow einzusteigen und gibt ihnen neue Chancen, einen überaus effizienten Datenaustausch zu erzielen. Hierbei wird ein klarer Schwerpunkt auf das Analysemodell gesetzt, sodass es bestens für den Austausch zwischen verschiedenen Statikprogrammen geeignet ist.

## **Einfaches und leicht verständliches Format**

Da es sich um ein tabellen- und Excelbasiertes Format handelt, ist der Aufbau und die Struktur für viele Anwender schnell ersichtlich und eindeutig zu verstehen. Informationen sind einfach aufzufinden, klar aufbereitet und können effektiv entnommen werden. Mithilfe solcher Tabellen lassen sich Daten zudem weiter gut verarbeiten und Änderungen nachvollziehbar durchführen. Dank der leichten und lesbaren Sprache eignet es sich gut für den Praxisalltag der Ingenieure und könnte sich in der Fachdisziplin der Tragwerksplanung durchsetzen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass dies von den Anwendern und den Softwareherstellern zukünftig auch gut angenommen wird.

## **Kompakte Speicherung von Informationen**

Der Vorteil einer Exceldatei liegt in der sehr kleinen Dateigröße. Somit können zahlreiche Informationen kompakt und komprimiert gespeichert werden, was auch den Kommunikationsverkehr per E-Mail wesentlich vereinfacht.

## **Vorteile für Softwarehersteller in der Implementierung**

Viele Statiksoftwarehersteller arbeiten bereits mit Tabellen und daher gestaltet sich die Implementierung des SAF-Formats bei weitem einfacher als beim IFC. Die beteiligten Softwarehäuser profitieren dabei durch eine gute Zusammenarbeit mit dem Entwicklerunternehmen SCIA und dem Zugang zu einer weitestgehend übersichtlichen und vollständigen Dokumentation. Für das Mappen von Objekten hat SCIA kürzlich mit dem StructuralAnalysisFormat SDK (Software Development Kit) ein sinnvolles Hilfstool zur Verfügung gestellt. Weiterhin sind die verantwortlichen Initiatoren von SCIA offen für Weiterentwicklungen und stets bemüht, das SAF weiter zu verbessern.

Das SAF erschließt eine große Anzahl an Berechnungsprogrammen. Es besteht die Hoffnung, dass sich mit der Verbreitung des SAF-Formates unter den Statikprogrammen mehr CAD-Häuser entscheiden werden, ein Statikmodell mitzuführen, was zu einer besseren Zusammenarbeit der Programme führen würde.

### **4.2.2.6 Anwendungsbereiche**

Das SAF ist bisher ein recht junges Format und in der Praxis vorwiegend nur in Mitteleuropa bekannt. Deswegen kann über weitere Anwendungsbereiche nur gemutmaßt werden. Szenarien wie der Austausch von Statikmodellen und das Änderungsmanagement sind allerdings zwei einleuchtende Anwendungsfälle für die Benutzung des SAF-Formats.

## **Austausch von Statikmodellen**

Im Mittelpunkt des SAF-Formats liegt der klassische Hochbau. Die hier angebotenen Objekttypen decken die wichtigsten Strukturelemente für die statische Berechnung von gängigen 2D- und 3D-Tragwerken wie z. B. Gebäude, Hallen, Gerüste, Decken, Platten, Wände, Stützen oder Rahmen. Durch den einfachen Austausch von Statikmodellen können unterschiedliche Projektteams, Planungsbüros oder Partner bei der Benutzung diverser Statikprogramme Daten besser übertragen, teilen und kommunizieren.

Ebenso besteht ein großer Vorteil für Prüfsachverständige, die sich beim Übernehmen der Statikmodelle in ihre Programme einen erheblichen Modellierungsaufwand sparen. Folglich können Modelle in alternativer Software schneller eingegeben, importiert und abgeleitet werden. Die Prüfstatiker erhalten durch diesen Austausch einen sofortigen Überblick über das Statikmodell und können die Ergebnisse mit ihren eigenen Berechnungsprogrammen verifizieren. Hinsichtlich der Verifizierung ergibt sich auch für jeden anderen Anwender ein wertvoller Nutzen, wenn es um die Wahl oder den Wechsel der Software geht. Dabei kann mithilfe des SAF-Formats schnell ein einfaches System erstellt werden, um anschließend einen Produktvergleich zu ziehen, die Resultate dementsprechend zu validieren und sich für das geeignetste Programm zu entscheiden.

Ingenieure führen ihre statischen Berechnungen nicht nur mit FE-Programmen durch, sondern verwenden für die Bemessung von Einzeldetails, Verbindungen oder Befestigungen auch Bemessungsprogramme. Die Anbindung des SAF an die Bemessungsmodule fördert den Transfer innerhalb einer Disziplin und verbessert schlussendlich den horizontalen Datenaustausch. Somit können Informationen von den Berechnungsprogrammen effektiver an die Bemessungsmodule weitergegeben werden. Auch der Prüfstatiker profitiert von einem wesentlich verbesserten horizontalen Datenaustausch, da die Statikprogramme die gleiche Sprache sprechen und somit viele gemeinsame Objekte verarbeitet werden können.

## **Änderungsmanagement**

Angesichts des übersichtlichen Dateiformats SAF können Änderungen schnell und leicht vorgenommen werden. Diese Anpassungen können für eigene Ansprüche so erweitert werden, dass beispielsweise zusätzliche Spalten mit Kommentaren hinzugefügt werden, um benutzerdefinierte Bemerkungen speichern zu können.



#### 4.2.2.7 Schwierigkeiten, Herausforderungen und Nachteile

Das SAF ist auf den ersten Blick ein interessantes Format für die Tragwerksplanung. Neben den Vorteilen gibt es auch einige Nachteile und Herausforderungen, die in Zukunft noch gelöst werden müssen.

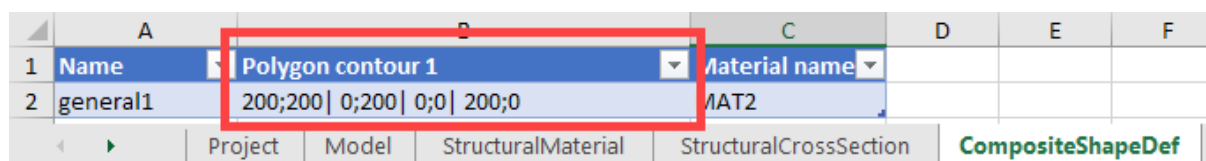
##### **Mögliche Einschränkungen und Limitierungen des SAF-Formats**

Die klare Ausrichtung auf den Hochbau lässt wünschenswerte Features im Bereich des Ingenieurbaus und der Undergroundkonstruktion offen. So ist es aktuell nicht möglich, Spannglieder für den Brückenbau und Bodenmodelle in einem der vorhandenen Objekttypen zu definieren. Weiterhin werden keine dynamischen Einwirkungen und nichtlineare Materialverhalten berücksichtigt. Auch können bis dato keine Ergebnisse exportiert werden, wie z. B. Bewehrung, Schnittgrößen, Verformungen, Spannungen, Dehnungen oder Ausnutzungen. Ohne einen Bewehrungsexport ist der Tragwerksplaner nicht in der Lage, Daten mit dem Zeichner in einem CAD-Konstruktionsprogramm am gleichen Modell auszutauschen. Laut SCIA wird hier bereits an möglichen Varianten gearbeitet, um Ergebnisse verarbeiten zu können.

Nurbs-Linien und -Flächen können momentan nicht konvertiert werden. Das liegt an der schwierigen Repräsentation der Wichtungsfaktoren in den Tabellen, die für die Nurbs-Definition benötigt werden. Die Länge der Blatt- bzw. Listenbezeichnungen ist ebenfalls limitiert. Zudem verfügt Excel über eine begrenzte Anzahl an Zeilen, was bei zu vielen Strukturdaten zu Problemen führen könnte. Allerdings liegt diese Einschränkung bei mehr als einer Million, sodass es schließlich zu keinen Komplikationen in der alltäglichen Arbeit der Ingenieure kommen sollte.

Eine weitere Limitierung bezieht sich auf Excel. Generell ist es nicht möglich, Baumstrukturen zu erstellen, um Abhängigkeiten zwischen Objekten zu erschaffen. Daher wird mit Verknüpfungen und Referenzen gearbeitet. Dies kann manchmal zu Fehlern führen, wenn die Bezeichnungen und Namen der Objektdefinitionen in den Blättern bzw. Listen versehentlich falsch geschrieben werden. Überdies können in Excel keine Arrays, also zweidimensionale Daten in einer Zelle repräsentiert werden. Es ist also nicht möglich, eine Tabelle in einer Excel-Zelle zu erstellen. Daher müssen einige "Workarounds" vorgenommen werden, wie zum Beispiel beim Objekttyp *CompositeShapeDef*, bei dem die Polygonkonturen mittels Trennzeichen zur Erstellung eines

beliebigen Querschnitts aufgeteilt werden müssen. Dabei werden die X- und Y-Koordinaten der Scheitelpunkte durch ein Semikolon „;“ sowie jeder Scheitelpunkt wiederum durch einen senkrechten Strich „|“ geteilt.



	A	B	C	D	E	F
1	Name	Polygon contour 1	Material name			
2	general1	200;200   0;200   0;0   200;0	MAT2			

Project | Model | StructuralMaterial | StructuralCrossSection | CompositeShapeDef

Abb. 4.30 Definition eines Polygons zur Erstellung eines allgemeinen Querschnitts [84]

Die interne Datenstruktur des SAF-Formats spiegelt den Aufbau des Statikprogramms SCIA Engineer wider. Vielleicht wäre eine gewisse neutralere Logik besser angebracht gewesen. So werden höchstwahrscheinlich nur Objektdefinitionen enthalten sein, die das Statikprogramm SCIA Engineer auch selbst hat, und andere Softwarehersteller ausgeschlossen, die über mehr solcher Objekttypen, wie zum Beispiel Volumenkörper, verfügen.

### Geringer Bekanntheitsgrad

Eine große Herausforderung wird die Erlangung einer großen Bekanntheit des SAF-Formats sein. Bisher kennen es hauptsächlich Softwareentwickler. Unter den Anwendern finden sich momentan nur wenige, die das SAF für ihre Planungen benutzen. Zudem bewegt sich der langsam steigende Bekanntheitsgrad vorwiegend in Mitteleuropa, was unter anderem an den dort ansässigen Softwarehäusern liegt. Hier bedarf es in Zukunft viel Arbeit am richtigen Marketing, das Format auf dem Markt gut zu positionieren und zu verbreiten. Denkbar wäre auch die Unterstützung der Organisation buildingSMART, die das Format weiterempfehlen und fördern könnte.

### Implementierung in den Softwarehäusern

Es bleibt ein gewisses Risiko bestehen, dass nicht alle Softwarefirmen auf den Zug der SAF-Implementierung aufspringen. Beispielsweise haben führende CAD-Programmhersteller wie Revit von Autodesk oder Tekla Structures von Trimble zwar Interesse bekundet, jedoch noch keinen SAF-Export bzw. SAF-Import umgesetzt. Dies kann zu einer langsameren Einführung und Verbreitung des Formats bei den Anwendern führen. Hier wird die Zukunft zeigen, ob konkurrierende Unternehmen überhaupt ein von Nemetschek initiiertes Format implementieren wollen. Dies könnte nämlich den Wettbewerb der Bausoftwarehersteller beeinflussen.

Bisher wurde mit dem IFC ein herstellerunabhängiges Format der nichtstaatlichen non-profit-Organisation buildingSMART unterstützt. Daher muss beim SAF die Frage gestellt werden, inwieweit es wirklich offen und unabhängig ist.

Das SAF-Format kann in der Praxis nur dann gut funktionieren, wenn es die jeweiligen CAD-Programme wie Revit und Tekla Structures mit ihren integrierten Analysemodellen verknüpfen. Die Qualität wäre hier zumindest sehr gut, da die Elemente bereits verbunden sind. Somit tun sich CAD-Hersteller, die ein analytisches Modell mitführen, bei der Implementierung leichter und werden den Export dem Import vorziehen, weil das Ableiten des Analysemodells aus dem Physikalischen der häufigere Workflow der Tragwerksplaner ist. Bei anderen Programmen wird die Implementierung höchstwahrscheinlich länger dauern. Alternativ wäre bei diesen Entwicklern denkbar, dass diese trotzdem einen Export des SAF anbieten, allerdings mit der Gefahr, dass die Konvertierung in analytische Elemente ähnlich limitiert sein wird wie beim IFC.

Ein Nachteil aus Entwicklersicht eines Softwareunternehmens ist das Fehlen einer C#-Bibliothek, die aus den bereitgestellten Daten eine MS Excel-Datei generieren kann. Das hängt auch mit den nicht vorhandenen Validierungsmöglichkeiten zusammen. Aktuell tun sich die Entwickler schwer, ihre Daten des SAF-Formats auf Gültigkeit und Richtigkeit aufgrund fehlender Verifizierungsbeispiele zu überprüfen. Größtenteils wird die Verifikation in Form eines Rückimports in die eigene Software getestet. Abhilfe könnte hier die Bereitstellung einer C#-Bibliothek sein, die durch das Erzeugen von SAF-Objekten in den Excel-Tabellen den Validierungsprozess deutlich verbessern könnte. Laut SCIA wird daran im Moment gearbeitet.

### **Fehlende Zertifizierung**

Problematisch scheint vor allem auch, dass es zurzeit keine Zertifizierung der Software gibt. Somit könnte jeder Softwarehersteller behaupten, dass er die Schnittstelle importieren und exportieren kann. Hingegen kann die Qualität des Lesens und Schreibens anfangs nur schwer eingeschätzt und überprüft werden. Hier müssen sich die Anwender auf die Beschreibungen der Programmentwickler verlassen. Eine Zertifizierung ähnlich zum IFC 4 RV durch buildingSMART würde einerseits die Qualität anhand von Beispielen sicherstellen und zu einem einheitlichen Standard führen. Dadurch kann beurteilt werden, wie gut das jeweilige Softwarehaus die SAF-Schnittstelle implementiert hat. Andererseits steigt auch das Interesse aus Seiten der führenden CAD-Hersteller, das SAF-Format zu implementieren. Vorteilhaft wäre dies auch für die großen

CAD-Hersteller wie Revit und Tekla Structures. Für eine bessere Übersicht der Unternehmen wird die Dokumentation der SAF empfohlen. [66]


















SAF Implementation		SAF Implementation							
									
	SCIA	FRILO	Graphisoft	Risa	Radimpex	LIRA SAPR SAPHIR	AxisVM	FEM-Design	Sofistik
Supported version	1.0.5	1.0.5	1.0.5 - 2.0.0	2.0.0	2.0.0	2.0.0	1.0.5	1.0.5	2.0.0
Import	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Export	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No
Structural analysis elements									
									
	SCIA	FRILO	Risa	Radimpex	LIRA SAPR SAPHIR	AxisVM	FEM-Design	Sofistik	
StructuralMaterial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
StructuralCrossSection	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CompositeShapeDef	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
StructuralPointConnection	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
StructuralCurveEdge	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
StructuralCurveMember	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
StructuralCurveMemberVarying	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
StructuralCurveMemberRib	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
StructuralSurfaceMember	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Abb. 4.31 SAF-Implementierung verschiedener Softwarehäuser [66]

### Offenes vs. Proprietäres Austauschformat

Das Unternehmen SCIA unter der Obhut von Nemetschek entwickelt das SAF-Format, anders als es bei IFC der Fall ist, das von der unabhängigen und freien Organisation buildingSMART betreut wird. Insofern ist die Frage gerechtfertigt, inwieweit es sich tatsächlich um ein offenes und neutrales Format handelt. Denn Nemetschek erschließt mit dem SAF-Format einen weiteren Workflow in der Tragwerksplanung und verbessert dadurch den Datenaustausch zwischen Architekten und Statikern. So können mit den CAD-Programmen Vectorworks und Allplan IFC-Daten exportiert und auf die BIMplus-Plattform hochgeladen werden. Mithilfe des SCIA Autoconverters werden die IFC-Daten anschließend in ein Analysemodell transformiert und als SAF wiedergegeben. Mit Archicad geht das Unternehmen Graphisoft den Weg, ein mitgeführtes Analysemodell als SAF exportieren zu können.

Die SAF-Dateien können dann später in die hauseigenen Statikprogramme SCIA, RISA und FRILO importiert werden. Alle genannten Unternehmen gehören zur Nemetschek Group. So zählten diese Firmen (SCIA, RISA, Archicad) auch zu den ersten, die den Import und Export des SAF-Formats vollumfänglich anbieten konnten.

Dank der BIMplus-Plattform können auch andere CAD-Hersteller ihre IFC-Daten zur Verfügung stellen und später mittels SCIA Autoconverter in SAF-Dateien umwandeln. Damit können nahezu alle BIM-fähigen Programme angesprochen werden, die über einen IFC-Export verfügen. Nemetschek profitiert davon am meisten, da sie zum einen die Programme, und zum anderen die Plattformen und Werkzeuge für einen effektiven Datenaustausch in der Tragwerksplanung zur Verfügung stellen. Je mehr Softwareapplikationen sich diesem Prozess anschließen, desto besser. Gerade konkurrierende Bausoftwareanbieter im CAD-Bereich könnten daher die Entwicklung eines von Nemetschek unterstützten Formats mit Skepsis betrachten, da sie Nemetschek mit Beteiligung indirekt unterstützen würden.

Letztendlich werden die Anwender und der Markt entscheiden, ob sich das Format durchsetzen wird. Laut SCIA versichern die Entwickler, dass sich das SAF-Format zu einem offenen und internationalen Standard ausbreiten soll und nicht als natives Nemetschek- bzw. SCIA-Format verstanden wird, auch wenn die Zukunft in deren Händen liegt. Zudem soll es nicht mit dem IFC konkurrieren, sondern als Ergänzung betrachtet werden.

### **Gefahr der fehlenden Plausibilitätsprüfungen**

Beim Austausch von Statikmodellen könnte die Gefahr entstehen, dass Ingenieure nur noch fertige Analysemodelle verschicken, ohne sie auf Plausibilität zu überprüfen. Das betrifft hauptsächlich das Szenario Statiker und Prüfstatiker, also eine erneute Berechnung in alternativen Statikprogrammen. Wenn Modelle einfach so übernommen werden, können auch Fehler wie z. B. eine falsche Spannweite der Decke übernommen werden. Normalerweise sollte dies durch eine unabhängige und erneute Eingabe umgangen werden. Dafür gibt es aktuell keine Lösungsansätze, solche Probleme liegen in der Natur der Datenübergabe. Als Vorteil sollte jedoch der Wegfall der Modellierung angesehen werden. Bezogen auf die Spannweite, muss der Prüferingenieur diese wie gehabt gedanklich aus dem Architekturmodell ableiten, nur, falls jene im importierten Modell stimmt, nicht erneut eingeben. Im besten Fall fällt der Schritt der Modelleingabe weg, der Schritt der Modellüberprüfung gewinnt aber zunehmend an Bedeutung.

## 4.3 Weitere Schnittstellen und Formate

### 4.3.1 Rhino und Grasshopper

Ein neuer Trend in der digitalen Planung ist das parametrische Modellieren und Entwerfen von Gebäuden. Damit können schon in der Entwurfsphase Variantenstudien mit einem relativ geringen Aufwand durchgeführt werden. Anspruchsvolle Tragwerke mit komplizierten Geometrien lassen sich oftmals mit einer visuellen Programmierumgebung einfach erstellen und anschließend an Berechnungsprogramme übergeben. Dabei verwenden die Architekten und Ingenieure Tools wie Rhino und Grasshopper, um Elemente in Form von grafischen Bausteinen zu erzeugen. Die **visuelle bzw. grafische Programmierung (englisch: Visual & Graphical Scripting / Programming)** bietet eine großartige Alternative zum eigentlichen textuellen Programmieren komplexer Strukturen. Diese Art der Modellierung ist wesentlich leichter und intuitiver zu erlernen und erfreut sich einer immer größer werdenden Beliebtheit in den Planungsbüros.



Abb. 4.32 Rhino – Logo [62]

Die Modellierungssoftware **Rhinoceros (kurz: Rhino)** eignet sich für eine computergestützte Modellierung beliebiger Objekte und kann sowohl in der Architektur als auch für das Produktdesign verwendet werden. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf NURBS-Kurven und -Flächen gelegt. Folglich können nahezu alle möglichen Formen von 3D-Geometrie dargestellt werden. sind den Formen dabei keine Grenzen gesetzt. [62]

**Grasshopper** bietet einen Aufsatz zu Rhino an und steht Anwendern als Plugin zur Verfügung. Kennzeichnend für Grasshopper ist die visuelle Programmieroberfläche, die ein parametrisches Erzeugen verschiedenster Objekte ermöglicht. Dabei werden generative Algorithmen verwendet und Objekte mit Bedingungen verknüpft, sodass Änderungen schnell vorgenommen werden können. [67] [68]



Abb. 4.33 Grasshopper – Logo [68]

### 4.3.2 Excel – XLS & CSV



Abb. 4.34 Excel – Logo [93]

Das wohl beliebteste Werkzeug der Bauingenieure ist und bleibt das Tabellenkalkulationsprogramm Excel. Auch in vielen Statikprogrammen sind tabellenbasierte Eingaben und Ausgaben möglich, häufig mit den Endungen .xls oder .csv. Gerne wird diese Schnittstelle für die Erstellung der Struktur, die statische Dokumentation oder für den Ergebnisexport benutzt. [69]

### 4.3.3 DSTV – Produktschnittstelle Stahlbau



Abb. 4.35 DSTV – Logo [69]

Eines der älteren offenen Austauschformate bietet die Produktschnittstelle Stahlbau, eine vom deutschen Stahlbau Verband (DSTV) entwickelte Schnittstelle, die für den Import und Export von Stabtragwerken, besonders im Stahlbau gedacht ist. Dieses Dateiformat hat die Endung .stp oder .step. Diese Schnittstelle unterstützen ebenfalls eine große Anzahl an Statikprogrammen und enthält neben den Strukturdaten (Materialien, Querschnitte, Stäbe, Knotenlager, ...) auch Belastungsdaten (Lasten, Lastfälle, ...) und Ergebnisdaten (Schnittgrößen, Verformungen, Lagerkräfte). [69]

### 4.3.4 DXF

Das DXF-Format ist eines der gängigsten Austauschformate im CAD-Bereich. Beinahe alle Statikprogramme bieten einen Import von DXF-Dateien an, die sie entweder als Hintergrundfolien integrieren oder automatisch ein Linienmodell erstellen. Die konventionelle Arbeitsweise erfolgt trotz gut funktionierender Software und Schnittstellen immer noch so, dass Architekten ihre 2D-Pläne als DXF an den Statiker versenden. Dies führt jedoch dazu, dass Bauingenieure den Plan lesen und ihr gesamtes statisches Modell schließlich erneut eingeben müssen. Durch die rein zweidimensionale Darstellung geht die Intelligenz objektorientierter Elemente verloren. [69]



Abb. 4.36 DXF – Logo [94]



#### 4.4 Zwischenfazit

Die gängige Baupraxis in der Tragwerksplanung und die gezeigten Schnittstellen zeigen, dass ein von BIM gewünschter offener Datenaustausch mittels IFC-Schnittstelle ohne weiteres nicht einfach umzusetzen ist. Dagegen ist der BIM-basierte Datenaustausch mithilfe direkter Schnittstellen momentan am effektivsten und mit wenig Fehlern behaftet. Um ein Open BIM-Szenario für Statiker attraktiver zu machen, ist man mit der Bereitstellung des SAF-Formats auf einem guten Weg, den Austausch von Statikmodellen in guter Qualität zu gewährleisten. Hier bedarf es allerdings noch Arbeit hinsichtlich der Erreichung eines höheren Bekanntheitsgrades und des Willens der Softwarehersteller, das neue Format zu implementieren. Darüber hinaus soll das SAF nicht als konkurrierendes Format zum IFC stehen, sondern als Ergänzung um eine wesentliche stärkere Statik-Komponente angesehen werden.

## 5 Datenaustausch-Szenarien

Dieses Kapitel behandelt zwei klassische Datenaustausch-Szenarien in einer BIM-orientierten Tragwerksplanung. Dargestellt wird ein Austausch von Statikmodellen zwischen CAD- und Statikprogrammen basierend auf dem SAF-Format. Dabei wird sowohl auf die übertragenen Informationen als auch auf die Qualität der Austauschmodelle eingegangen. Weiterhin werden notwendige Beschreibungen und Hinweise zur Erstellung der Modelle erwähnt und um Empfehlungen seitens der Softwarehersteller ergänzt. Zu Beginn des Abschnitts wird das Referenzbeispiel mit den Detailpunkten gezeigt, die verwendete Software vorgestellt und die jeweiligen Ablauf-Szenarien textlich und bildlich beschrieben. Jeder einzelne Schritt im Austauschprozess wird dabei in weitere Kapitel unterteilt.

### 5.1 Ablauf des Datentransfers

#### 5.1.1 Referenzbeispiel

Ziel ist ein statisches Modell in der Qualität hinzubekommen, wie auf der nächsten Seite im Statikprogramm RFEM 5 gezeigt. Das gewählte Gebäude zeigt ein einfaches Einfamilienhaus aus Stahlbeton mit einer beliebigen Dachkonstruktion aus Stahl- und Betonelementen, deren Dachbinder aus gevouteten Trägern bestehen. Die auskragenden Stahlträger über dem Balkon bestehen aus parametrischen T-Querschnitten, die in der Länge einen linear veränderlichen Querschnittsverlauf besitzen. Für die zwei Stahlbetonrahmen, die aus Rechteckquerschnitten bestehen, gilt das Gleiche. Das Haus besitzt zwei Geschosse, wobei ein Unterzug die Lasten der Decke über dem Erdgeschoss mitaufnimmt und an die Tragwände sowie die mittlere Stütze weiterleitet. Die restliche Lastverteilung erfolgt durch die Außenwände bis in die Bodenplatte. Das Beispiel dient vorwiegend der Beurteilung des Datenaustausches und entspricht deshalb keinen architektonischen Regeln. Ferner wird auch keine statische Berechnung und Bemessung berücksichtigt. Weiterhin wird nur das Tragwerksmodell erstellt. Andere nichttragende Elemente wie Möbel, Installationen oder Mehrschichtaufbauten sind nicht dargestellt. Grundrisse und weitere Visualisierungen können der Anlage A entnommen werden.

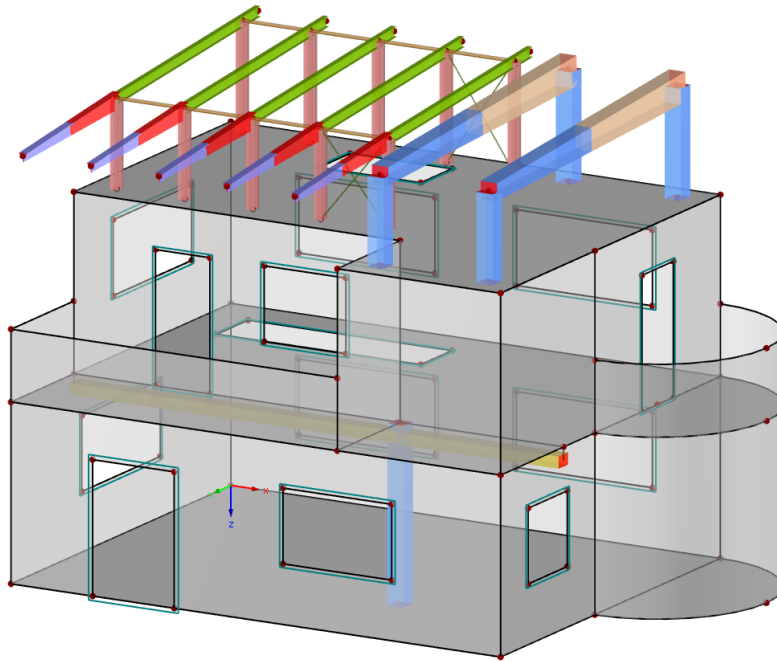


Abb. 5.1 Referenzbeispiel in RFEM 5 [84]

Um eine bessere Aussage über die Effizienz des Datentransfers treffen zu können, sind im Modell sieben Stellen markiert, die hinsichtlich ihrer Qualität bei der Umwandlung eines physischen Strukturmodells über ein Analysemodell bis hin zum Berechnungsmodell bewertet werden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die übertragenen Informationen und die Verbindungen der Tragelemente geworfen.

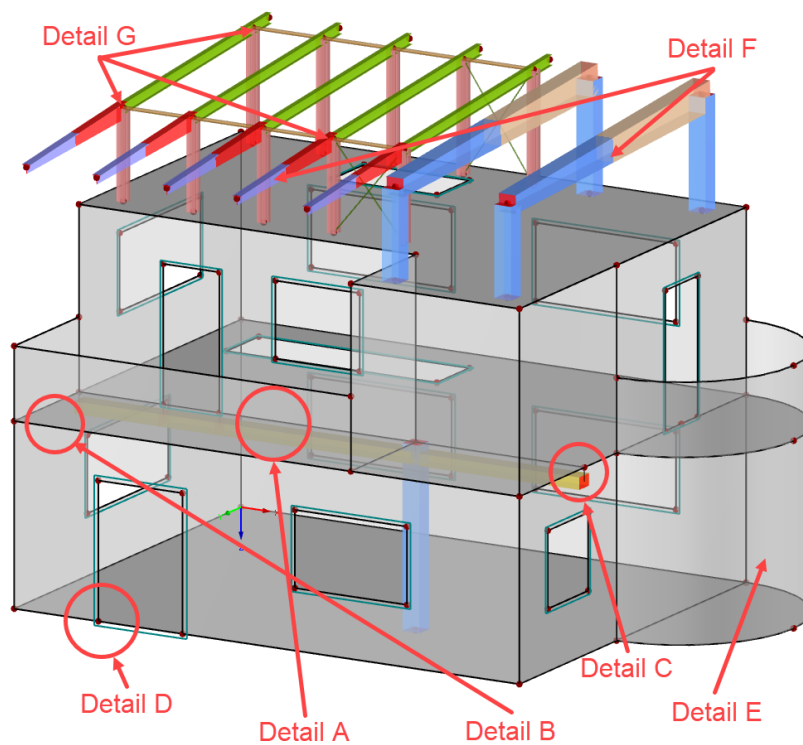


Abb. 5.2 Detailpositionen im Modell [84]

## 5.1.2 Detailpunkte

Um den Datenaustausch an bestimmten Punkten qualitativ beurteilen zu können, werden im Folgenden sieben Details genauer untersucht. Die obenstehende Grafik zeigt die Details im gesamten Modell.

### ▪ Detail A: Deckensprung

Deckensprünge sind für die Durchführung der statischen Systemachsen immer kritisch. Für ein sinnvolles statisches Modell sollten diese geradlinig durchgeführt werden. Normalerweise sollte sich hier immer auf die dickere Platte bezogen werden.

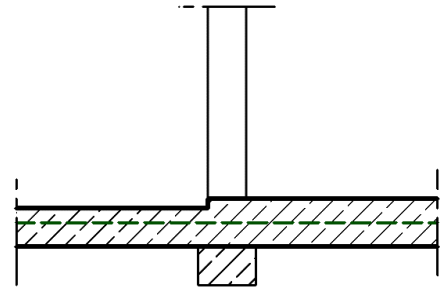


Abb. 5.3 Detail A [84]

### ▪ Detail B: Wandversatz Brüstung

Aufgrund der unterschiedlichen Wanddicken gilt es auch bei Wandversätzen zu berücksichtigen, dass die Systemachsen in einer Schwerelinie verlaufen. Andernfalls führt es zu ungünstigen FE-Netzgenerierungen.

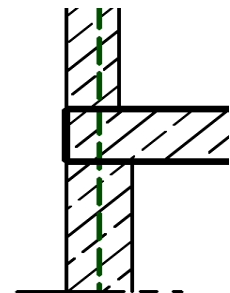


Abb. 5.4 Detail B [84]

### ▪ Detail C: Rippe

Weiter sind auch exzentrische Anschlüsse kritisch zu beurteilen. In diesem Fall wird der Unterzug als Plattbalken mit mitwirkenden Breiten ausgeführt. Auf der einen Seite ist daher zu prüfen, ob ein exzentrischer Anschluss möglich ist und auf der anderen Seite, ob der Stabtyp Rippe und dessen mitwirkenden Plattenbreiten berücksichtigt werden können.

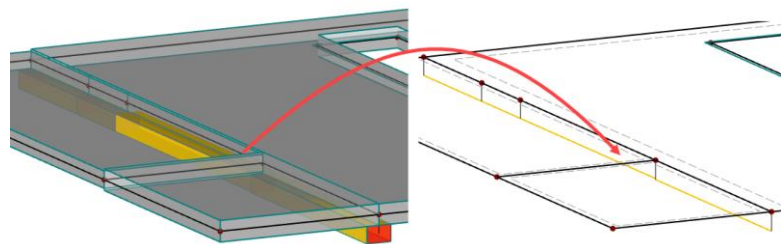


Abb. 5.5 Detail C [84]

### Detail D: Öffnungen

Ab einer gewissen Größe müssen Öffnungen wie Fenster und Türen in Bauteilelementen wie Wänden und Decken berücksichtigt werden. Da die Türöffnungen auf der Kante einer Decke liegen, muss auf eine genaue Modellierung und Umwandlung der Struktur- in Analyseelemente geachtet werden.

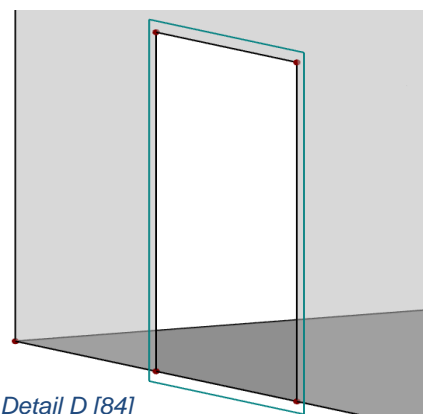


Abb. 5.6 Detail D [84]

### ▪ **Detail E: Halbkreisfläche und Halbkreiswand**

In diesem Detail geht es vor allem um die Handhabung von gekrümmten Linien. Wie werden die Halbreiselemente umgewandelt? Welcher Linientyp wird verwendet? Wird sie in mehrere geradlinige Polygonlinien unterteilt? Wie wird eine gekrümmte Fläche berücksichtigt? Diese Fragen sind in jedem Programm individuell zu beantworten.

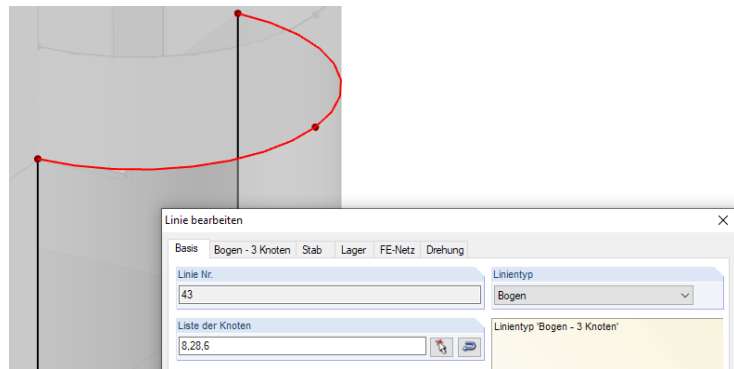


Abb. 5.7 Detail E [84]

### ▪ **Detail F: Voute und linear veränderlicher Querschnitt**

Vouten treten hauptsächlich im Stahlbau auf. Hierbei handelt es sich um einen Stab mit einem veränderlichen Querschnittsverlauf. Die

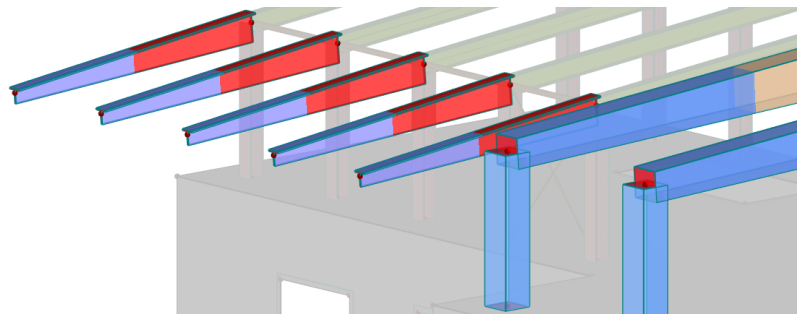


Abb. 5.8 Detail F [84]

Frage, die sich dabei stellt, ist: Wie wird mit Vouten in den Programmen und bei der Umwandlung in Statikobjekte umgegangen?

### ▪ **Detail G: Verbindungen**

Zuletzt soll bei allen Bauteilen im Hinblick auf die Verbindungen überprüft werden, ob diese konsistent miteinander verbunden sind. Vor allem bei den Stahlbauanschlüssen wird dies interessant zu sehen sein, da mehrere Stäbe in einen Knoten zusammenlaufen sollten.

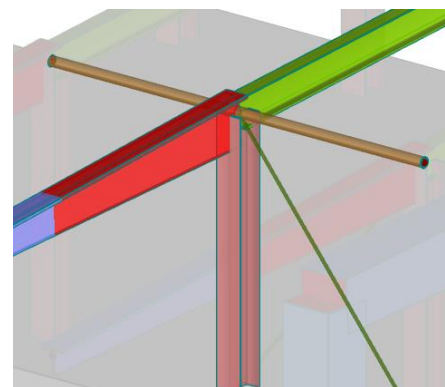


Abb. 5.9 Detail G [84]

## 5.1.3 Szenarien

**Szenario 1** beinhaltet einen üblichen Datenaustausch, der in der Praxis zwischen Architekten und Tragwerksplaner auch häufiger auftaucht. Hier wird in dem BIM-fähigen CAD-Programm Archicad 25 ein Gebäude modelliert, anschließend werden mithilfe des integrierten Tragwerksanalysemodells Lasten aufgebracht und Randbedingungen

festgelegt. Weiter werden bei Bedarf zur Verbesserung der Qualität auch Korrekturen im Analysemodell vorgenommen, sodass es als vorbereitetes Modell an das 3D-FEM-Programm **RFEM 6** übergeben werden kann. Dieser Austausch basiert auf einem Import der exportierten SAF-Datei aus dem Analysemodell von Archicad 25. Schließlich werden im Statikprogramm RFEM 6 das Berechnungsmodell hinsichtlich der Vollständigkeit sowie Plausibilität überprüft und kritische Detailpunkte genauer auf ihre Qualität untersucht.



Abb. 5.10 Szenario 1: Archicad – RFEM [84]

**Szenario 2** erweitert den Workflow um zwei zusätzliche Tools. Dieses Mal wird das Gebäude im CAD-Programm **Allplan 2021** erzeugt, welches allerdings kein Analysemodell mitführt und somit auch keinen SAF-Export unterstützt. Stattdessen wird das Modell als IFC-Datei exportiert und an die Kollaborationsplattform **Bimplus** weitergegeben. Dort wird das 3D-Strukturmodell unter Zuhilfenahme der Webapplikation **SCIA AutoConverter** in ein Berechnungsmodell umgewandelt und anschließend als SAF-Format bereitgestellt. Bevor das SAF-Format in das Statikprogramm **SCIA Engineer 21** importiert wird, können im SCIA Autoconverter Änderungen und automatische Aktualisierungen des Analysemodells vorgenommen werden. Zuletzt wird auch im Berechnungsprogramm SCIA Engineer 21 überprüft, welche Daten übertragen wurden und die Detailstellen auf ihren Zustand überprüft.

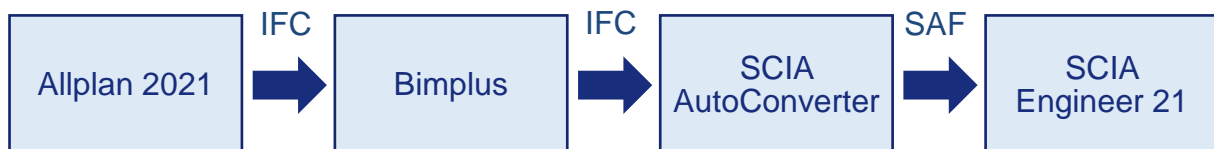


Abb. 5.11 Szenario 2: Allplan – Bimplus – SCIA Autoconverter – SCIA Engineer [84]

## 5.2 Szenario 1 – Direkter SAF-Datenaustausch

### 5.2.1 Verwendete Software

#### 5.2.1.1 Archicad 25

Archicad ist ein CAD- und BIM-Programm für Architekten, Ingenieure und Planer. Entwickelt wird das Programm vom Unternehmen Graphisoft, das seit 2007 Teil der Nemetschek Group ist. Mit Archicad wird den Anwendern eine optimale Lösung zur integralen Zusammenarbeit und Planung angeboten. Neben der Bereitstellung effektiver Werkzeuge zur dreidimensionalen Modellierung von beliebigen Bauwerken, können auch automatisierte Dokumentationen wie Plansätze und Bauteillisten auf Knopfdruck generiert werden. Weiter werden mithilfe des bauteilorientierten sowie parametrischen Modellierens Bauteile mit ihren für den Planungsprozess notwendigen Eigenschaften versehen und die Arbeit durch intelligente Objekte erleichtert, womit Änderungen im Modell schnell und einfach vorgenommen werden können. [70]

Archicad verschrieb sich bereits in frühen Entwicklungszeiten der Planungsmethode BIM. So war Archicad eines der ersten führenden CAD-Programme, das eine modellorientierte 3D-Software für Architekten anbot und deshalb zum Wegbereiter von BIM wurde. Seitdem wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Bereitstellung innovativer Lösungen wie beispielsweise der BIMcloud gelegt. BIMcloud ist eine flexible Server-Lösung für das Arbeiten im Team. Es ermöglicht allen Teammitgliedern ein gleichzeitiges und synchrones Arbeiten am selben 3D-Modell. Damit können Projekte gemeinsam im Teamwork effektiv und zeitsparend bearbeitet werden. Das klassische Hin- und Herschicken von Plänen und Modellen entfällt. [70]

Einen wichtigen Teil zu einem erfolgreichen BIM-basierten Austausch in der Tragwerksplanung leistet Archicad in Form eines integrierten Tragwerksanalysemodells. Dieses basiert auf dem physischen Strukturmodell und wird parallel im Hintergrund erzeugt. Erstellungsregeln sorgen dafür, dass das Tragwerksanalysemodell für einen optimierten Export zur Statiksoftware vorbereitet werden kann. So können beispielsweise irrelevante Durchbrüche als Öffnungen vernachlässigt werden. Durch den Einsatz des SAF-Formats kann zudem die Interoperabilität mit weiteren Statikprogrammen gewährleistet werden. Somit fügt sich Archicad als erstes CAD-Programm in die Kette der CAD-Softwarehersteller, die über einen SAF-Import und SAF-Export verfügen.



### 5.2.1.2 RFEM 6

Mit RFEM 6 wird eine neue Generation der Statikprogramme von der Firma Dlubal Software GmbH eingeläutet. Dabei erwartet die Ingenieure und Tragwerksplaner ein leistungsfähiges, einfaches und intuitives Tool für die tägliche Anwendung zur Berechnung und Bemessung von Tragkonstruktionen. Das Programm wird vom Softwareentwickler Dlubal Software entwickelt, betreut und vertrieben, und befindet sich bei mehr als 86.000 Anwendern im Einsatz. [69]

Die FE-Software RFEM 6 ermöglicht die Modellierung und Analyse allgemeiner Platten-, Scheiben-, Schalen- und Stabtragwerke. Mischsysteme sind ebenso möglich wie die Behandlung von Volumen- und Kontaktelementen. RFEM alleine berechnet als Ergebnisse Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen, Dehnungen, Lagerkräfte und Sohlspannungen. Um materialbezogene Bemessungen nach verschiedenen Normen durchführen zu können, werden Add-ons benutzt, die auch für unterschiedliche Analyseverfahren verwendet werden können. Somit steht dem anspruchsvollen Statiker und Berechnungsingenieur ein 3D-FEM-Programm zur Verfügung, das allen Anforderungen im modernen Ingenieurbau gerecht wird.

Um an einem BIM-Prozess teilnehmen zu können, stellt Dlubal wertvolle Funktionen in seinen Programmen zur Verfügung. So können in der Version RFEM 5 beispielsweise direkte Schnittstellen zu anderen CAD-Programmen wie Revit und Tekla Structures benutzt werden, während in RFEM 6 ein stärkerer Fokus auf Open BIM gelegt wird. In RFEM 6 lassen sich IFC-Daten sowohl im Structural Analysis View als auch Reference View oder Coordination View importieren und exportieren. Gleichzeitig kann auch das SAF-Format importiert werden. Insgesamt bietet die Produktpalette von Dlubal Software einen effektiven Anschluss an BIM-basierte Prozesse in der Tragwerksplanung.

RFEM 6 befindet sich zum Zeitpunkt des Verfassens der Masterthesis noch in der Entwicklung und ist daher nur als interne Beta-Version für Mitarbeiter der Dlubal Software GmbH verfügbar.

## 5.2.2 In Archicad

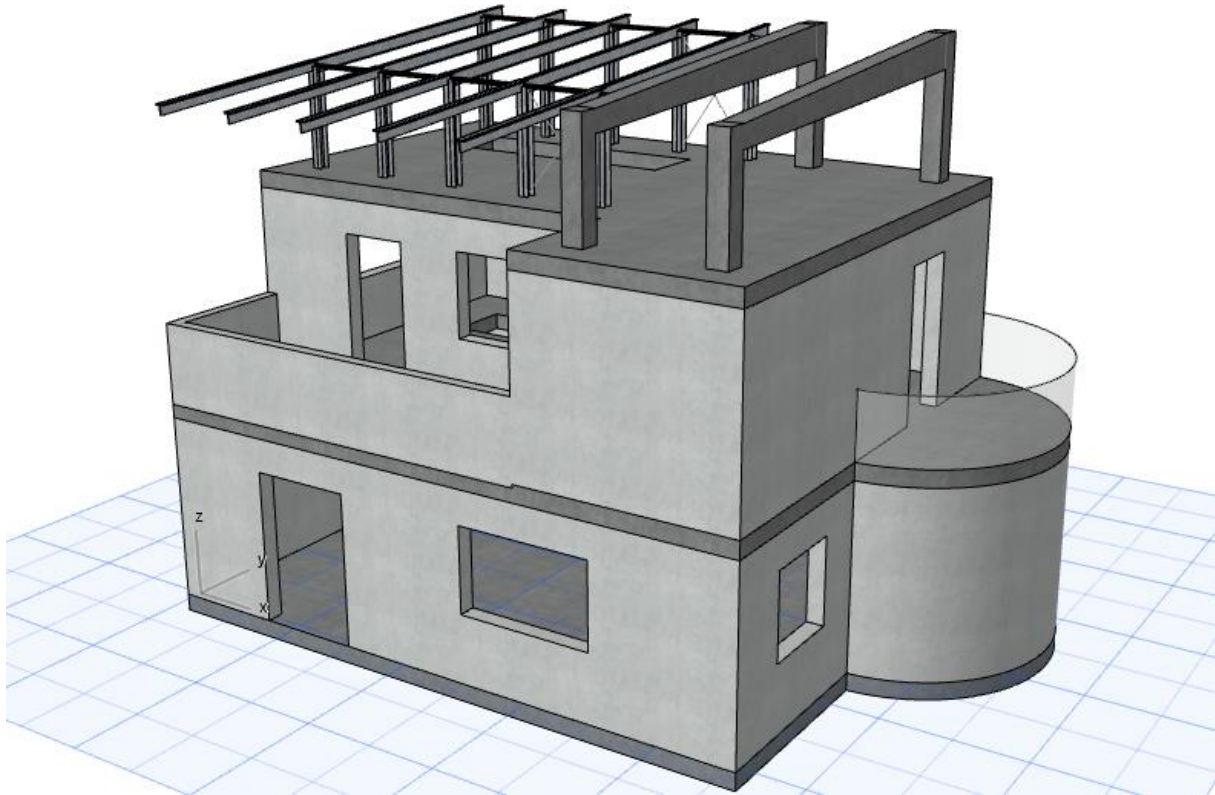


Abb. 5.12 3D-Gebäudemodell in Archicad [84]

Neben der klassischen Modellierung des Bauwerks werden bei tragenden Bauteilen wie Stützen und Trägern weitere statische Eigenschaften festgelegt werden. Dabei handelt es sich beispielsweise bei der Stütze um die Art der Kraftübertragung bzw. des Stabtyps sowie um die Gelenkdefinition und die Aktivierung einer tragenden Funktion. Zudem können regelbasierte Änderungen zugelassen werden, die sich auf die Bildung des Tragwerksanalysemodells auswirken. So kann zum Beispiel der Versatz der statischen Schwerelinie manuell angepasst werden.

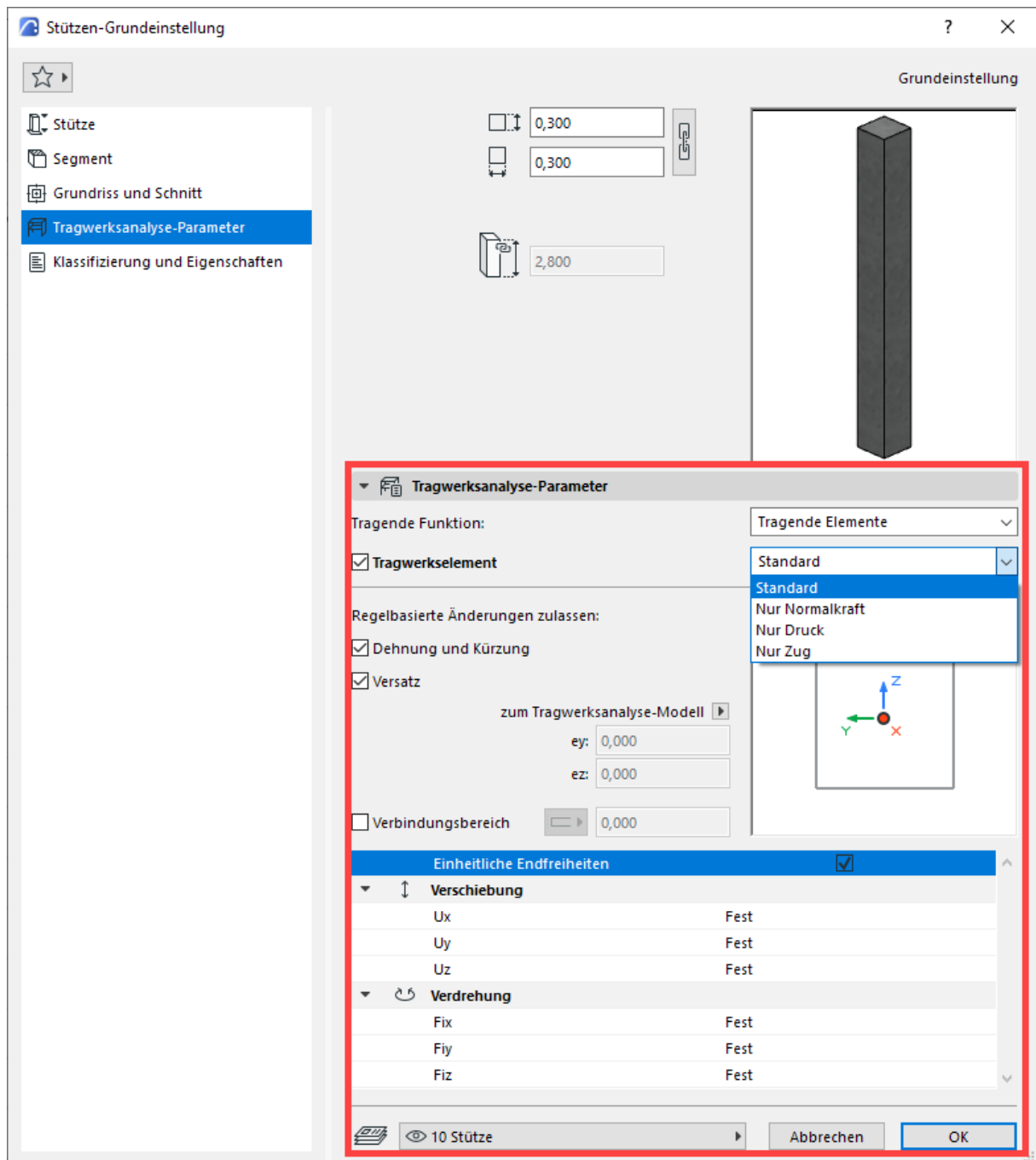


Abb. 5.13 Stützen-Eigenschaften als Tragwerksanalyse-Parameter [84]

Weiterhin sollen bei allen Tragelementen auch wichtige Eigenschaften wie zum Beispiel Material, Querschnitt und Feuerwiderstandsklasse festgehalten werden. Auch das ist in ArchiCAD im jeweiligen Eigenschaftsfenster des Bauteils möglich. Beim Modellieren der Objekte waren anfangs jedoch keine weiteren Eigenschaften hinterlegt, sodass das Material manuell durch das Anhängen der Klassifizierungen hinzugefügt werden musste.

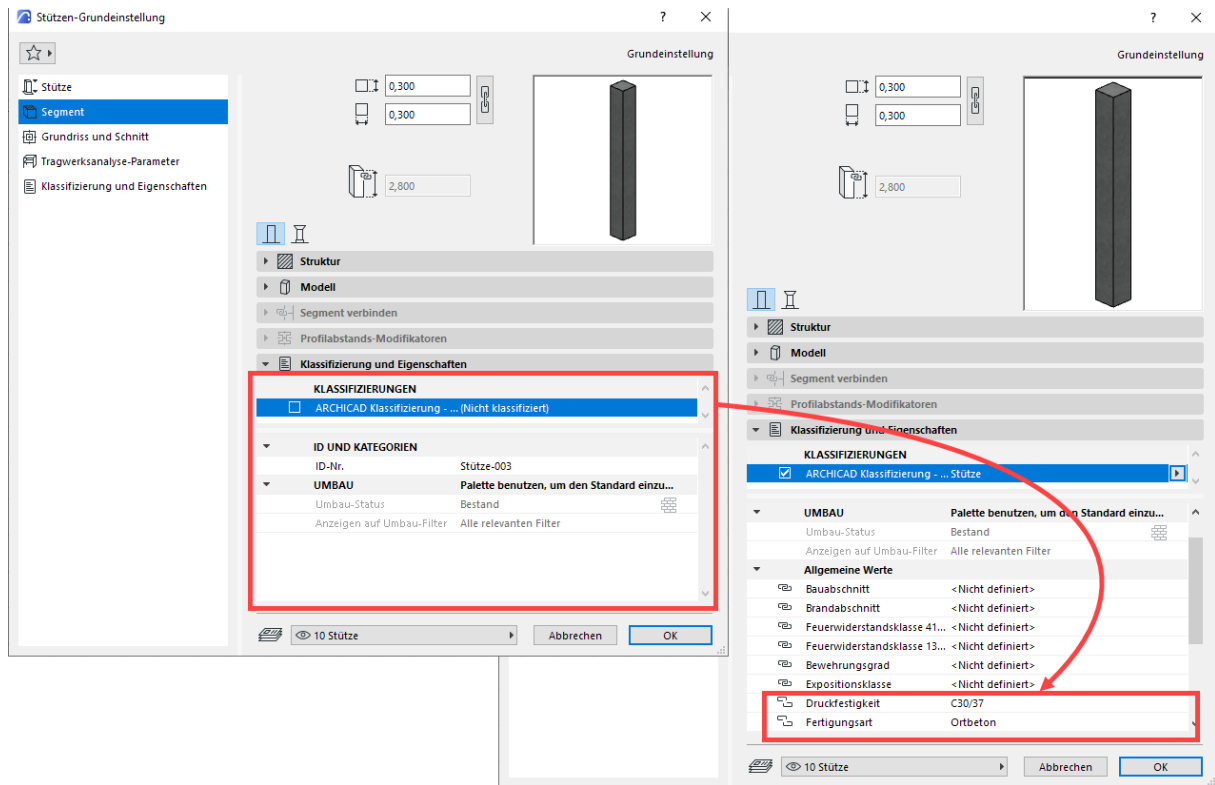


Abb. 5.14 Ergänzung von zusätzlichen Informationen wie Material und Fertigungsart [84]

Da Archicad nicht gerade ein auf den Stahlbau spezialisiertes Programm ist, bietet es bei weitem nicht die gleiche Profilbibliothek von Stahlquerschnitten, wie es in Statikprogrammen üblich ist. Um nun neue Profile hinzuzufügen, können mit dem Profil-Manager neue komplexere Profile erstellt oder bearbeitet werden. Alternativ lassen sich auch gewalzte oder parametrische Profile durch den Import von Stahlprofilen erstellen. Für die parametrischen T-Profile werden neue Profile angelegt, die IPE- und HEA-Profile um ihre Abmessungen ergänzt.

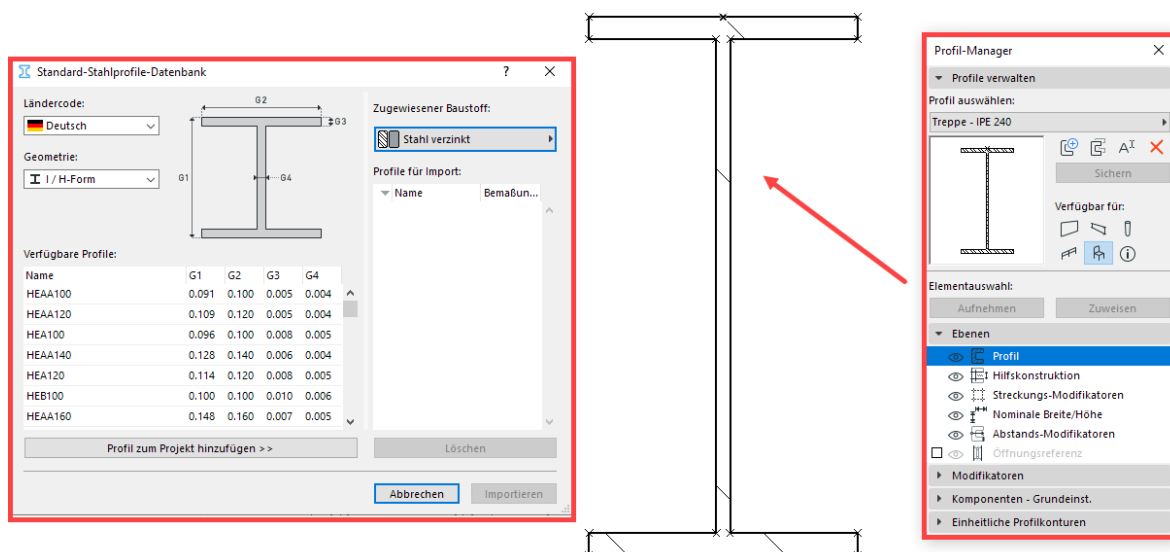


Abb. 5.15 Möglichkeiten zur Erstellung von Stahlprofilen

Die Knotenverbindungen entsprechen in der Darstellung nicht der tatsächlichen Realität bezüglich ihrer Konstruktion und Ausführung. Stattdessen werden die Stahlstützen und Stahlträger so modelliert, dass sie als statisches System in ihren Schwerachsen zusammenlaufen. Hinsichtlich der Stabtypen kann bei den Aussteifungen das Tragwerkselement *Nur Zug* ausgewählt werden, ein Typ zur Berücksichtigung von Fachwerkstäben (gelenkige Anschlüsse) ist nicht vorhanden, kann aber über die Knotenfreiheiten wie im obenstehenden Bild umgangen werden. Leider war es dem Autor nicht möglich, selbst definierte gevoutete parametrische T-Profile zu erstellen, sodass nur der Stahlbetonunterzug als linear veränderlicher Querschnitt als Kriterium für den Datenaustausch untersucht wird.

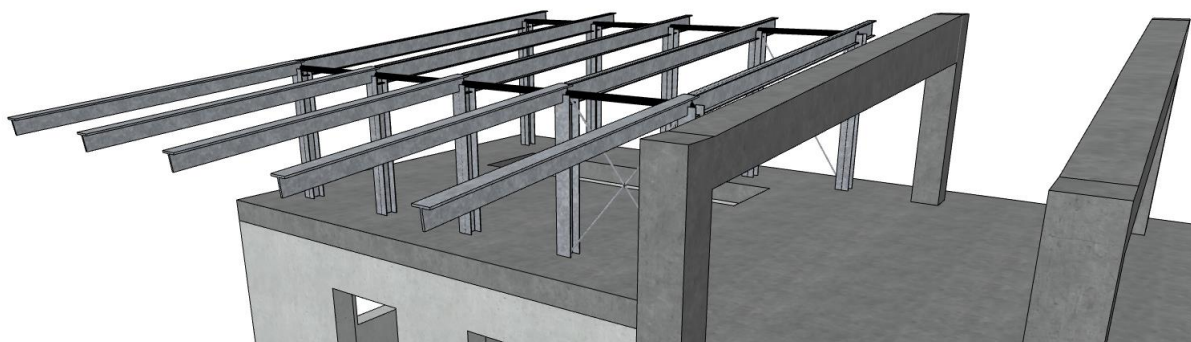


Abb. 5.16 Dachkonstruktion bestehend aus Stahlbauprofilen und rechteckigen Stahlbetonstäben

Archicad bietet für Statiker weitreichende Möglichkeiten, aus dem physikalischen Strukturmodell ein Tragwerksanalysemodell abzuleiten. Dafür wird den Anwendern eine auf die Tragwerksplanung zugeschnittene Ansicht bereitgestellt, die nur die tragenden Elemente auf der Arbeitsfläche anzeigt. Danach wird das Tragwerksanalysemodell aktiviert, wobei beim genaueren Hinsehen deutlich erkannt wird, dass die tragenden Modellobjekte zunächst nicht miteinander verbunden sind. Das liegt daran, dass alle 1D-Elemente wie Stützen und Träger im Schwerpunkt des Querschnitts sowie alle 2D-Elemente wie Decken und Wände in der Mitte der Kernebene erzeugt werden. Aufgrund der Reduzierung liegt ein Spalt bzw. etwas „Luft“ zwischen den Bauteilen. Somit berühren sich deren Begrenzungslinien und Kanten nicht.

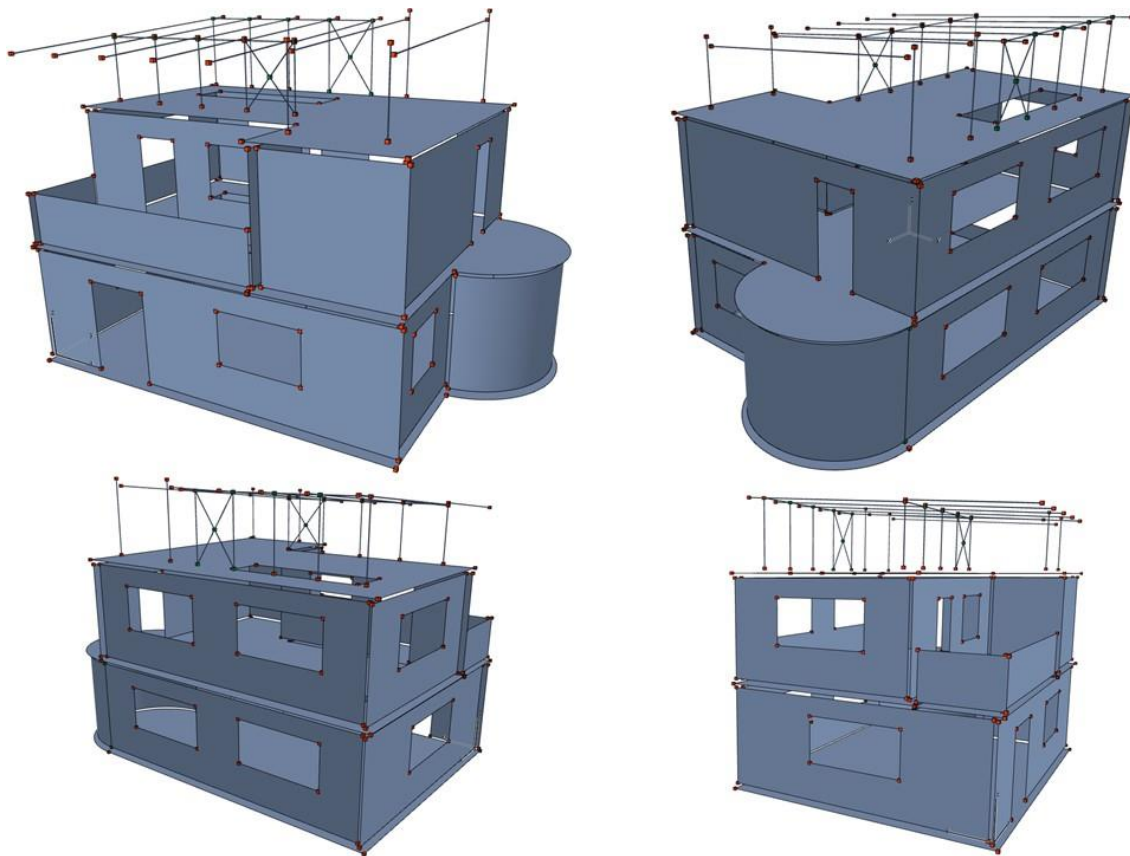


Abb. 5.17 Unbearbeitetes Tragwerksanalysemodell

Die Positionen der analytischen Bestandteile müssen daher verändert werden, um ein korrektes Tragwerksanalysemodell zu erstellen. Neben der manuellen Anpassung können in Verbindung mit Regelsätzen auch automatisierte Anpassungen der analytischen Elemente vorgenommen werden. Die Anzahl der einzustellenden Anpassungsregeln ist hierbei sehr groß und erleichtert die Arbeit immens. Durch das automatische Zusammenlegen der Bauteile wird auch die Geometrie geändert. Hier gilt es besonders darauf zu achten, dass es zu keinen wesentlichen Abweichungen kommt.

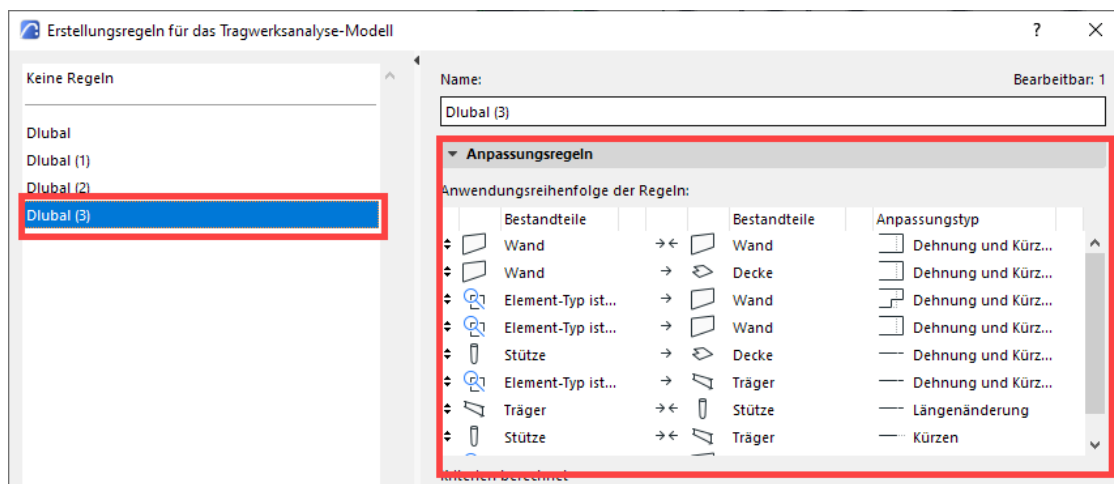


Abb. 5.18 Einstellungsregeln für das Analysemodell, um Bauteile zu verbinden



In Kombination mit manuellen Änderungen sowie einigen wenigen Regeln entsteht im Verlauf dieses Beispiels ein vollständiges und konsistentes Tragwerksanalysemodell. Ein Hinzufügen von weiteren statischen Objekte wie Gelenken, Auflagern und Lasten wurde vernachlässigt. Leider war es dem Autor nicht möglich, die Aussteifungen mit den Stützen zu verbinden. Sicherlich hätte dies in der Software berücksichtigt werden können. Das Aussteifungssystem besitzt außerdem noch einen gemeinsamen Verschnidungspunkt, der ebenfalls als Knoten erkannt wird, aber in der statischen Modellierung zu keinem durchgängigen Stabzug führt. Somit wird die Korrektur im Statikprogramm selbst vorgenommen.

Archicad bietet zudem für die korrekte Übertragung sogenannte SAF-Übersetzer an. Diese Übersetzer stellen sicher, dass alle Materialien und Querschnitte von Archicad mit denen anderer Statikprogramme gemappt werden können. Danach wird das Analysemodell als SAF-Datei exportiert

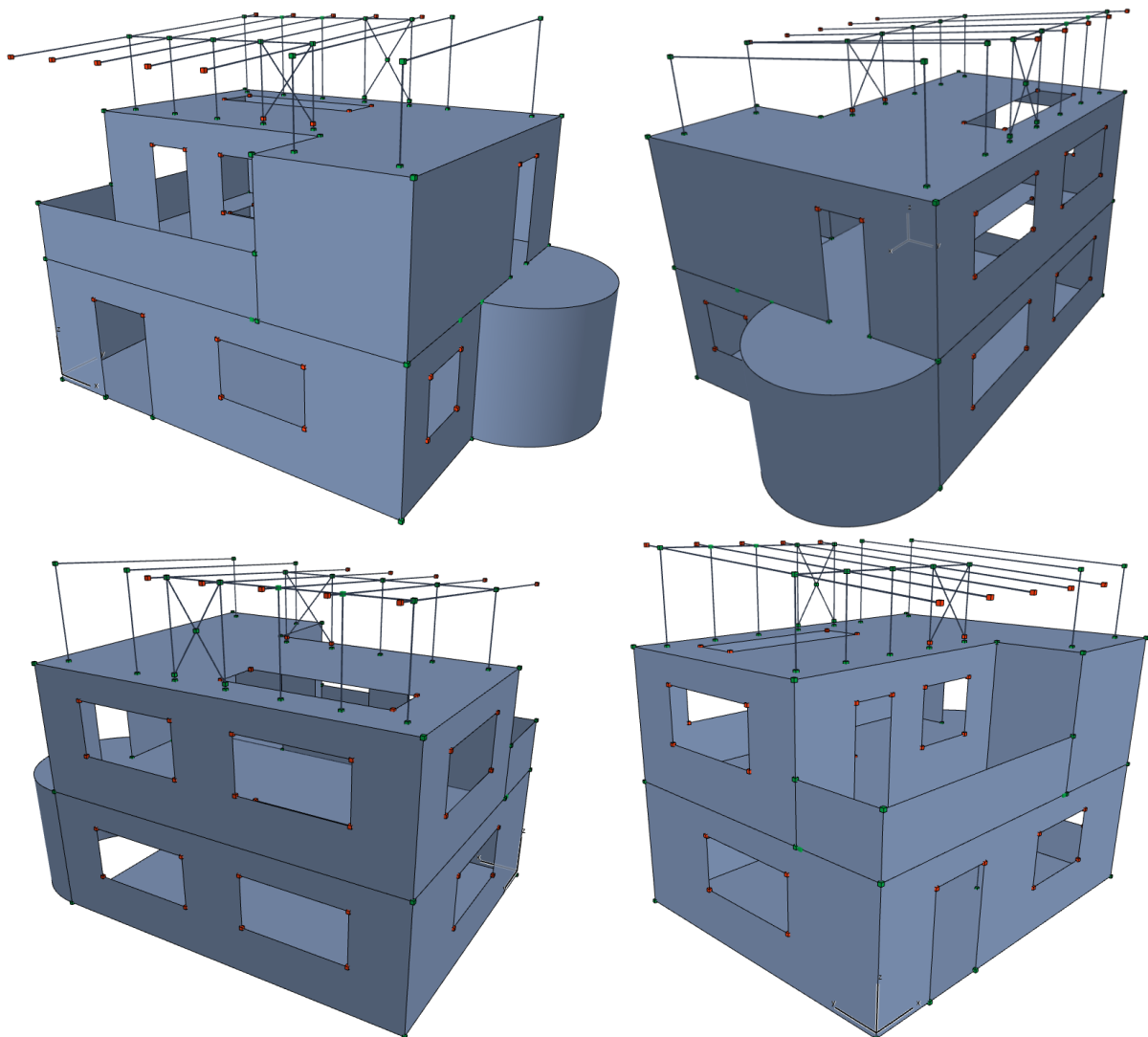


Abb. 5.19 Überarbeitetes Tragwerksanalysemodell mit verbundenen Objekten



### 5.2.3 In RFEM 6

In RFEM wird durch das Importieren des SAF-Files ein neues Modell erstellt. Anschließend kann in Konvertierungstabellen eingestellt werden, welche Querschnitts- und Materialbezeichnungen aus dem SAF-Format denen in Dlubal entsprechen.

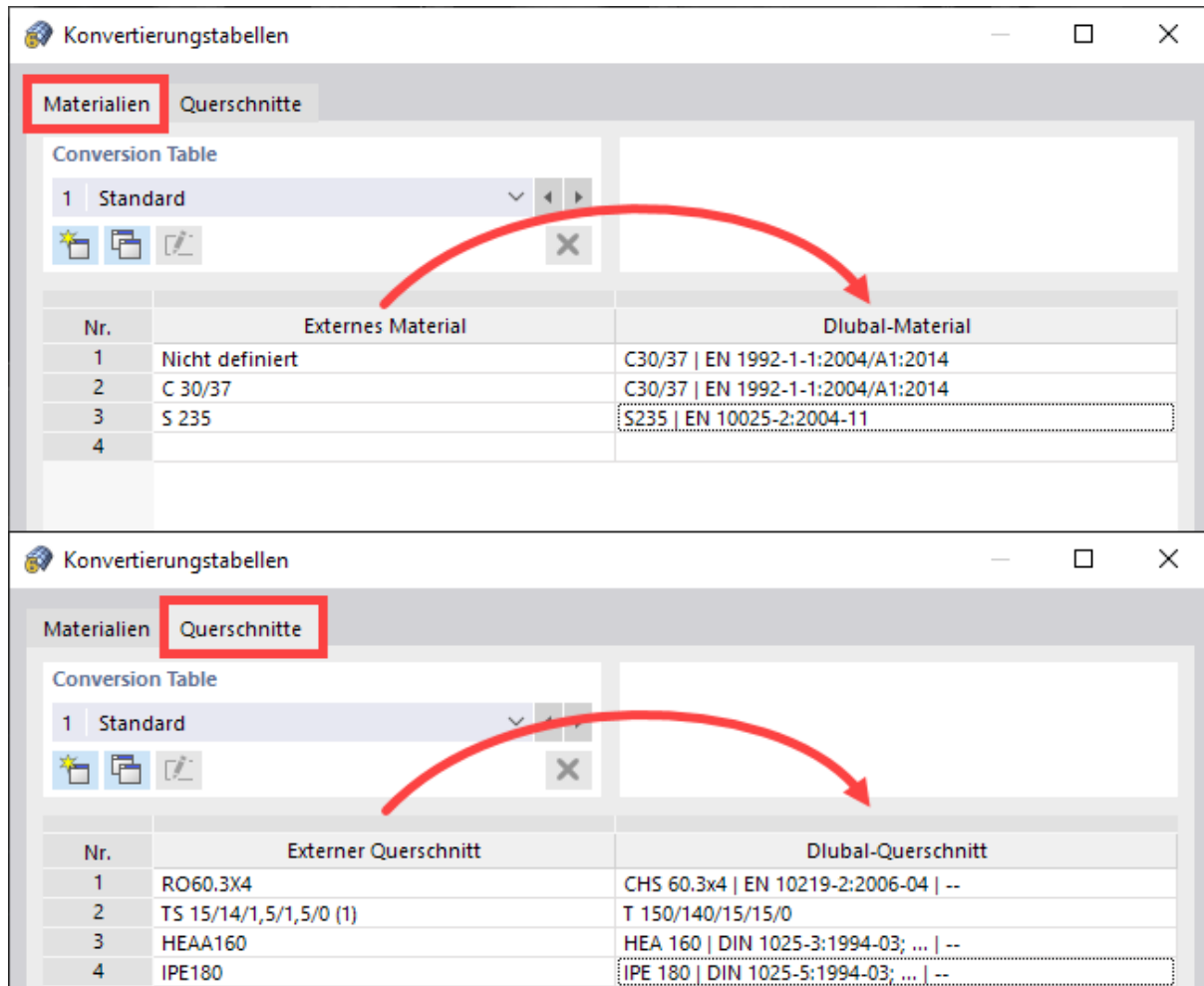


Abb. 5.20 Konvertierungstabellen in RFEM 6

Auf den ersten Blick scheint das Modell größtenteils gut übergeben worden zu sein. Zudem tauchte beim Import keine Fehlermeldung auf. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass die Halbkreisfläche in der rechten Wand nicht übergeben wurde. Hier ist es höchstwahrscheinlich zu Transfer- und Umwandlungsproblemen gekommen. Deshalb wird die nicht ebene Wand in RFEM 6 mit dem Geometriotyp „*Quadrangel*“ manuell hinzugefügt. Neben einigen kleinen geometrischen Knotenanpassungen wird unter anderem der Unterzug modifiziert. Dieser erhält den Stabtyp *Rippe* und fungiert somit als Plattenbalken. Zusätzlich wird er exzentrisch an die Unterkante der Decke angeschlossen. Die Fußknoten der Stäbe im Aussteifungsverband werden an die unteren Stützenknoten verschoben. Da alle Stäbe als Balkenstäbe definiert sind, werden

den Aussteifungsstäben und den Pfetten die Stabtypen *Zug* und *Fachwerk* zugewiesen und bekommen den Stabtyp *Zug*. Abschließend müssen noch die Vouten bei den T-Profilen und die linear veränderlichen Querschnitte beim Stahlbetonbinder ergänzt werden. Diese Informationen wurden nicht korrekt übermittelt.

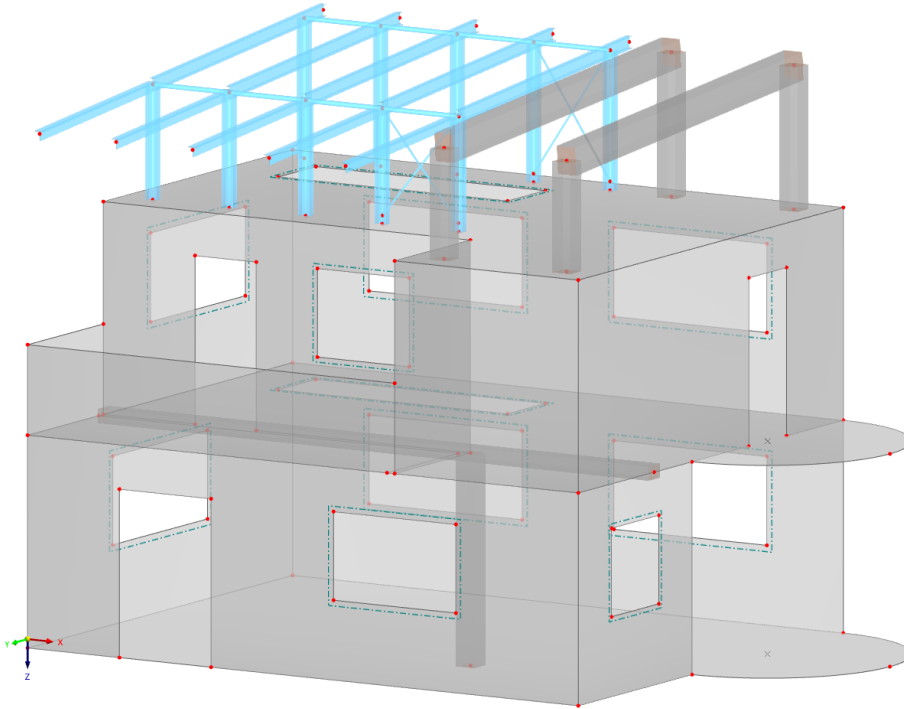


Abb. 5.21 Importiertes und unbearbeitetes Statikmodell in RFEM 6 [84]

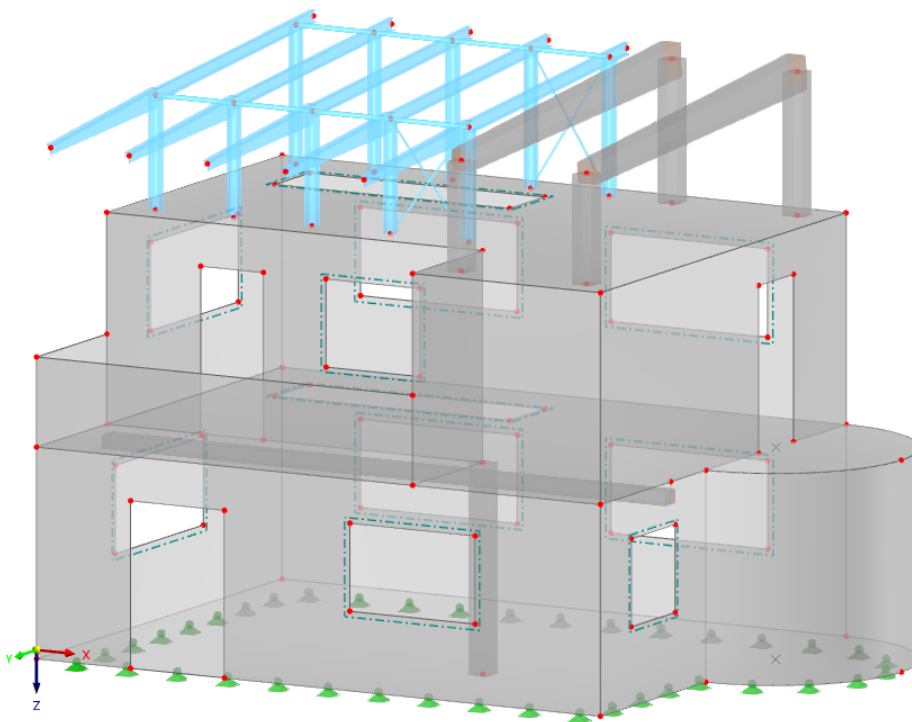


Abb. 5.22 Korrigiertes Statikmodell in RFEM 6 [84]

Empfehlenswert ist es auch, das Modell auf identische Knoten zu überprüfen. Dabei wird festgestellt, dass einige Knoten in der Stahlkonstruktion entweder dieselben oder zu nahe beieinander liegende Koordinaten besitzen. Diese werden dahingehend zu einem Knoten verschmolzen.

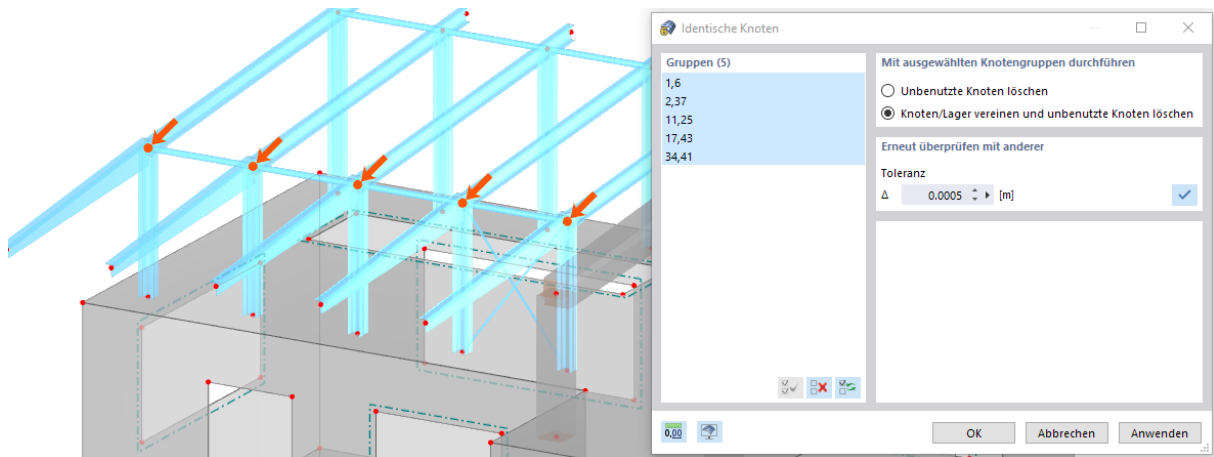


Abb. 5.23 Identische Knoten werden zu gemeinsamen Knoten vereint [84]

Über einen kleinen Test wird die Struktur mit dem Lastfall Eigengewicht berechnet. Damit kann das Modell auf Plausibilität hinsichtlich der Ergebnisse kontrolliert werden, ob auch wirklich alle Elemente miteinander verbunden sind. Hierzu wird lediglich der Bodenplatte eine Bettung gegeben und mit einem Lastfall belastet.

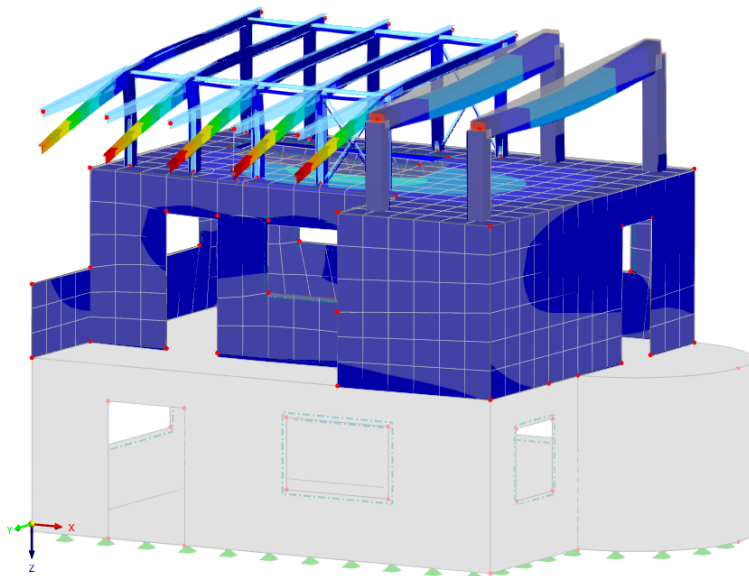


Abb. 5.24 Verformung im Lastfall Eigengewicht in RFEM 6 [84]

Die Verformungsfigur sieht soweit sehr gut aus. Das Durchbiegen der Kragträger entspricht auch dem realen Tragverhalten unter Eigengewicht.

## 5.2.4 Überprüfung

Das Gesamtmodell wurde weitestgehend ohne Datenverluste übertragen. Lediglich die **Halbkreisfläche und Halbkreiswand (Detail E)** musste komplett neu erzeugt werden. Die Linien dagegen erhielten den Linientyp *Bogen* und wurden deshalb richtig erkannt. Der **Deckensprung (Detail A)** konnte bereits im Analysemodell von Archicad angepasst werden und wurde korrekt in das Statikprogramm RFEM importiert. Auch beim **Wandversatz (Detail B)** wurde eine durchgehende Wandfläche erstellt, die ebenfalls in Archicad modifiziert wurde. Ein Versatz des Unterzuges konnte in Archicad zwar berücksichtigt werden, wurde aber trotzdem im Analysemodell in die Lage der Decke verschoben, um anschließend einen exzentrischen Anschluss des Stabtyps **Rippe (Detail C)** in RFEM zu gewährleisten. Keine Probleme gab es bei den **Öffnungen (Detail D)**, die fehlerfrei transferiert wurden.

Weit schwieriger gestaltete sich die Ausbildung der **Stahlvouten (Detail F)** und der **veränderlichen Querschnitte (Detail F)** in den Stahlbetonbindern. Diese konnten in Archicad nicht vollständig berücksichtigt werden, deshalb wurden die T-Profile nur mit einem Querschnitt dargestellt. Demgegenüber konnte beim Stahlbetonträger ein linear veränderlicher Querschnitt zwar modelliert werden, allerdings wurde beim Export nur die mittlere Querschnittshöhe als Querschnitt an RFEM übergeben. Die **Verbindungen (Detail G)** waren dank des Analysemodells in Archicad größtenteils alle korrekt, nur in der Stahlkonstruktion befanden sich einige doppelte Knoten.

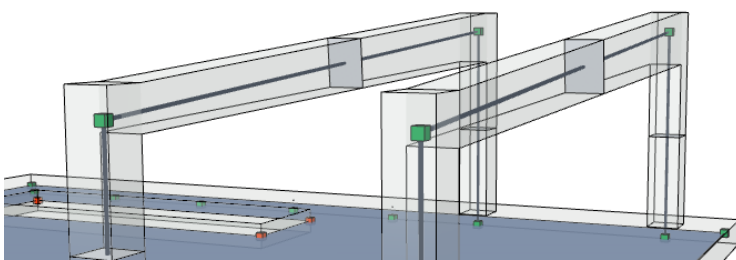


Abb. 5.25 Detail F: Die mittlere Querschnittshöhe wurde in diesem Fall angenommen [84]

Die nachfolgende Tabelle stellt eine Zusammenstellung der maßgebenden Kriterien für den erfolgten Datenaustausch dar. Dabei werden alle Strukturdaten hinsichtlich ihrer Datenübertragung benotet und gegebenenfalls kommentiert. Die **Note 1** symbolisiert einen **fehlerfreien Datentransfer**, während die **Note 2** für eine Datenübergabe mit weniger aufwendigen **Nachbearbeitungen** steht. Bei **Note 3** fand **keine Übergabe** statt und das jeweilige Objekt musste neu erzeugt werden. Neben dem Gesamtmodell

werden auch Bauteile wie Decken und Stützen allgemein überprüft. Die Details werden gleichermaßen kontrolliert und bewertet.

Strukturdaten	1	2	3	Bemerkung
Gesamtmodell	x			Maßgebend ist die Qualität des Analysemodells in Archicad
Decken allg.	x			
Wände allg.	x			
Stütze allg.	x			
Träger allg.	x			
Materialien	x			Nutzung von Mapping-Tabellen sehr sinnvoll
Querschnitte	x			Nutzung von Mapping-Tabellen sehr sinnvoll
Detail A	x			Konnte im Analysemodell bewerkstelligt werden
Detail B	x			Konnte im Analysemodell bewerkstelligt werden
Detail C		x		Wurde manuell in RFEM nachbearbeitet
Detail D	x			Fehlerfreie Datenübertragung
Detail E			x	Musste neu erstellt werden
Detail F			x	Musste manuell nachgebessert werden
Detail G		x		Bis auf kleine Anpassungen waren es konsistente Verbindungen

Abb. 5.26 Bewertungstabelle für das Datenaustausch-Szenario 1 [84]

### 5.2.5 Bewertung

Insgesamt ist das Ergebnis recht zufriedenstellend. Die Geometrie wurde fast vollständig übergeben, das Mappen der Querschnitte und Materialien hat ebenso funktioniert. Neben den kleinen Anpassungen von FE-Knoten waren nur einige wenige Handgriffe bei den Vouten und der Halbkreisfläche erforderlich. Mit Archicad und dem integrierten Tragwerksanalysemodell verfügen die Anwender, insbesondere die Tragwerksplaner, über ein mächtiges Tool, um das für die statische Berechnung erforderliche Analysemodell automatisiert zu erstellen. Dabei liegt die Ausbildung der Qualität des Analysemodells in den Händen der Statiker, die eine vollständige Kontrolle über ihre Systeme

haben. Der leichtere und nutzerfreundlichere Umgang mit Vouten und linear veränderlichen Querschnitten kann gemeinsam mit einer sinnvollen Umwandlung von Halbkreis-Elementen als verbesserungswürdig angesehen werden.

## **5.3 Szenario 2: Allplan – Bimplus – SCIA AutoConverter – SCIA Engineer**

### **5.3.1 Verwendete Software**

#### **5.3.1.1 Allplan 2021**

Das von Architekten, Ingenieuren und Konstrukteuren beliebte CAD- und BIM-Programm Allplan 2021 ist geeignet für die Erstellung von 2D-Konstruktionen, 3D-Modellierungen sowie bauteilorientierten Gebäudemodellen mit Mengen- und Kostenermittlungen. Das gleichnamige Unternehmen Allplan GmbH ist für die Entwicklung des Programms verantwortlich und gehört zur Nemetschek Group. Die Software ist seit 1984 auf dem Markt und ist in zwanzig Sprachen verfügbar. Aktuell wird sie bei mehr als 240.000 Anwendern eingesetzt. [71]

Allplan bietet durchgängige Lösungen für Ingenieure, Architekten und Ingenieure im Hoch-, Ingenieur- und Infrastrukturbau an. Beim Erstellen von anspruchsvollen 3D-Modellen genießen die Anwender große Freiheiten und die Vorzüge einfacher intuitiver Werkzeuge. Hochwertige Visualisierungen und Bewehrungsplanung auf höchstem Niveau sind weitere Merkmale, die die Software auszeichnen. Allplan legt ebenfalls einen großen Wert auf eine gut funktionierende Planung im BIM-Umfeld. Durch die direkte Anbindung an die cloudbasierte BIM-Plattform Bimplus wird Allplan zur universellen BIM-Lösung. Dank der zahlreichen Schnittstellen und der Bereitstellung gängiger Austauschformate (u. a. DXF, DWG, IFC, PDF, ...) unterstützt Allplan einen zuverlässigen Datenaustausch.

#### **5.3.1.2 Bimplus**

Die von Allplan entwickelte Kollaborationsplattform Bimplus ist eine offene cloudbasierte BIM-Plattform für die disziplinübergreifende Zusammenarbeit in Bauwerksprojekten. Dabei werden BIM-Modelldaten, Informationen, Dokumente, Pläne und Aufgaben über den gesamten Gebäudelebenszyklus hinweg zentral gespeichert. Verschiedene Fachmodelle können mit Bimplus zusammengeführt und analysiert werden. Insofern wird es im Allgemeinen für ein besseres koordiniertes Projekt-, Informations-

und Änderungsmanagement verwendet. Weiterhin kann die Plattform mit Austauschformaten wie BCF und IFC bedient werden, die in der Cloud hochgeladen werden und jedem Beteiligten zum Download zur Verfügung stehen. Gleichzeitig können diese Daten auch in einem Viewer angeschaut werden. [71] [72]

### 5.3.1.3 SCIA AutoConverter

Der SCIA AutoConverter ist eine neuartige Webapplikation zur effektiven Teilnahme an einem Open BIM-Prozess und wird vom Unternehmen SCIA entwickelt. Hierbei können dreidimensionale Strukturdaten aus einem CAD-Programm als IFC-Modelle in Analysemodelle umgewandelt werden. Hochgeladene physikalische Strukturmodelle werden in einem automatisierten Prozess eingelesen, bearbeitet, modifiziert und für einen Export in ein Statikprogramm mittels des SAF-Formats optimiert vorbereitet. Ebenfalls bleiben zusätzliche Statikdaten wie Lasten, die innerhalb des Statikprogrammes erstellt wurden, erhalten. [73]

Das Programm richtet sich somit sowohl an CAD-Programme als auch Statikprogramme, die IFC-Daten exportieren und SAF-Dateien importieren können. Ferner behalten die Bauingenieure die vollständige Kontrolle über die Generierung des Analysemodells. Mithilfe der bereitgestellten Tools können Änderungen besser nachvollzogen und die Qualität des Analysemodells hinsichtlich der Vollständigkeit überprüft werden. Überdies finden bei vorgenommenen Änderungen zu jeder Zeit automatische Aktualisierungen des Analysemodells statt, was zu wesentlichen Zeitersparnissen führt und die Gefahr von Fehlern reduziert.

Insgesamt wird dem Gewerk, das so häufig in einem BIM-Prozess vergessen wird, und zwar der Tragwerksplanung, ein Werkzeug an die Hand gegeben, das den Austausch von Statikmodellen wesentlich verbessern soll.

### 5.3.1.4 SCIA Engineer 21

SCIA Engineer 21 ist eine Statiksoftware zur Modellierung, Berechnung, Bemessung und Dokumentation von Tragwerken. Der im Programmnamen enthaltene Name ist auch der Softwarehersteller SCIA, der seit mehr als 40 Jahren führend in der Entwicklung von Statikprogrammen ist und auch zur Nemetschek Group gehört. Neben der leistungsfähigen CAD-ähnlichen Modellierung mit optionaler Tabelleneingabe können auch erweiterte Generatoren zur Erstellung verschiedener parametrischer Geometriestrukturen benutzt werden.



Die Bemessung beliebiger Materialien erfolgt auf Unterstützung verschiedener implementierter Normen wie dem Eurocode. Bei SCIA wird das Thema BIM großgeschrieben und so hat sich die Firma mit dem ins Leben gerufenen SAF-Format in Sachen Open BIM zu einem Vorreiter in der Statik-Softwareentwicklung gemacht. Auch die Anbindung an andere CAD- und Statikprogramme, vor allem aus dem Hause Nemetschek, wird durch die Bereitstellung offener Austauschformate und den direkten Kopplungen zu Revit und Tekla sichergestellt. [74]

### 5.3.2 In Allplan



Abb. 5.27 3D-Gebäudemodell in Allplan [84]

Als Vorlage dient wieder das gleiche Gebäude, das bereits in Archicad verwendet wurde. Allplan bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Modellierung von Gebäuden. Somit können alle tragenden Stahlbetonbauteile problemlos erstellt werden. Lediglich die Modellierung der Dachkonstruktion gestaltet sich ein wenig anders, da es dem Autor nicht möglich war, gevoutete Querschnitte zu berücksichtigen. Daher werden sowohl

die Stahlprofile als auch der Stahlbetonbinder mithilfe von allgemeinen 3D-Körpern modelliert. Während alle Träger Rechteckquerschnitte erhalten, werden den Pfetten und Aussteifungsstäben runde Querschnitte zugewiesen.

Besonders wichtig bei einer Übergabe von IFC-Daten ist die Attribuierung von Objekten. Deswegen werden bei allen Bauteilen die Attribute „Material“, „statisch\_tragend“ und bei den Stahlprofilen das Attribut „Bezeichnung“ hinzugefügt. Die Attribute dienen später dem Mapping im SCIA AutoConverter.

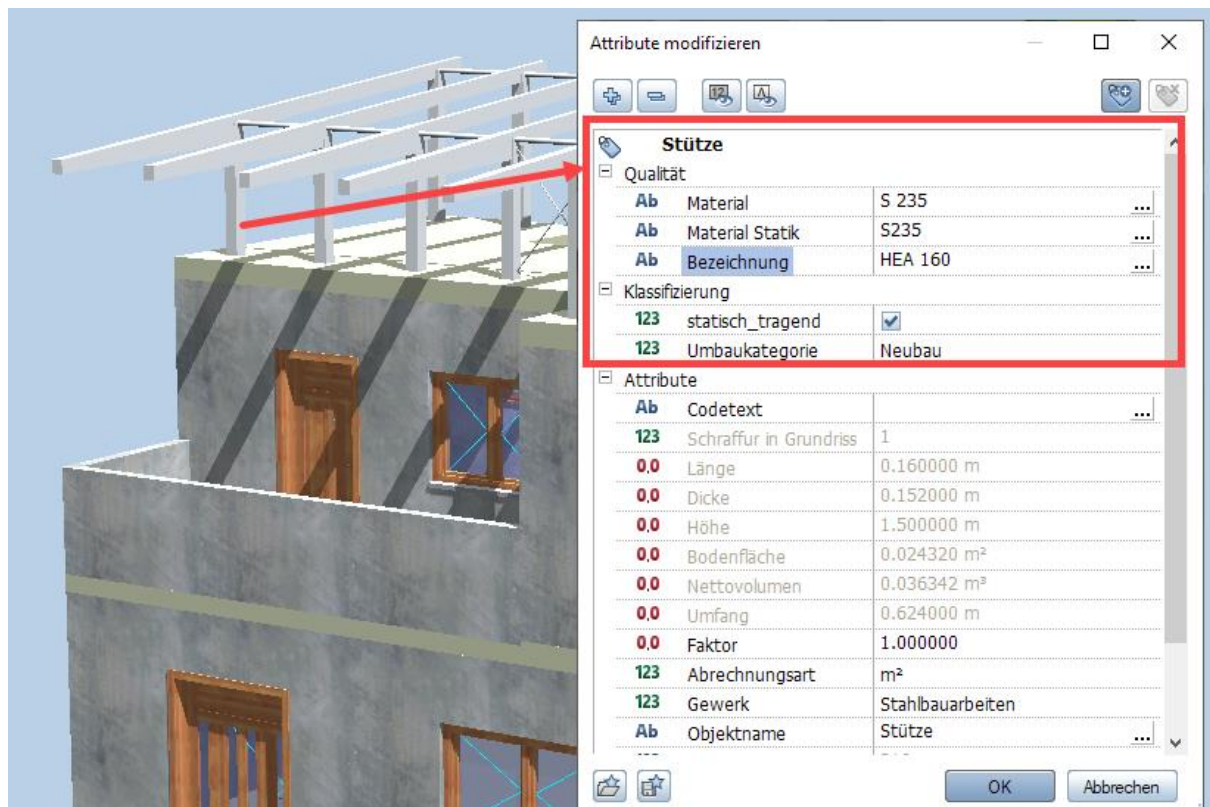
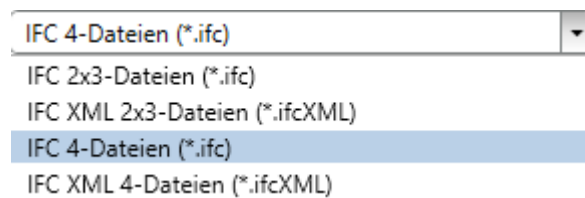


Abb. 5.28 Objekte erhalten wichtige Attribute [84]

Nachdem das Gebäude fertiggestellt wurde, wird es anschließend als IFC-Datei exportiert. In Allplan gibt es die Möglichkeit, das IFC in mehrere Views auszugeben.



Für das Beispiel wird sich für das IFC 4 entschieden. *Abb. 5.29 IFC-Exportoptionen*

Um die Inhalte der gewünschten IFC-Daten bestimmen zu können, müssen die entsprechenden Teilbilder ausgewählt werden, die für einen IFC-Austausch sinnvoll sind. Allplan bietet hierfür die Option „Restriktionen der Bauwerksstrukturen“, um festzulegen, welche Strukturstufen in der Bauwerksstruktur erlaubt sind und welchen Strukturstufen Teilbilder zugeordnet werden dürfen. Infolgedessen dient es auch der Kontrolle,

um einen reibungslosen IFC-Export zu ermöglichen. Danach wird das IFC-Modell auf die Kollaborationsplattform Bimplus hochgeladen. Das Hochladen von IFC-Modellen kann entweder direkt in Allplan oder manuell im Web vorgenommen werden.

### 5.3.3 In Bimplus

In Bimplus können BIM-Modelle hochgeladen, verwaltet und gesteuert werden. Es dient als Web-basierte Plattform zum Austausch von Modellen und hilft allen Projektbeteiligten sich besser abzustimmen. Zudem erlaubt die Plattform auch Aufgaben im Task Board an Teammitglieder zu vergeben, um verschiedene Teams zu koordinieren. Die IFC-Modelle können mithilfe eines Viewers angeschaut werden. Hierbei können verschiedene Objekte je nach IFC-Klassifizierung ein- und ausgeblendet werden. Weiterhin können mit Werkzeugen verschiedene Ansichten erzeugt und Schnitte durch das Bauwerk gelegt werden. Über Bimplus kann auch der SCIA Autoconverter aufgerufen werden. Er speichert ebenfalls alle Modelle, auch Analysemodelle, in einer zentralen Cloud-Speicherlösung basierend auf der Technik von Bimplus.

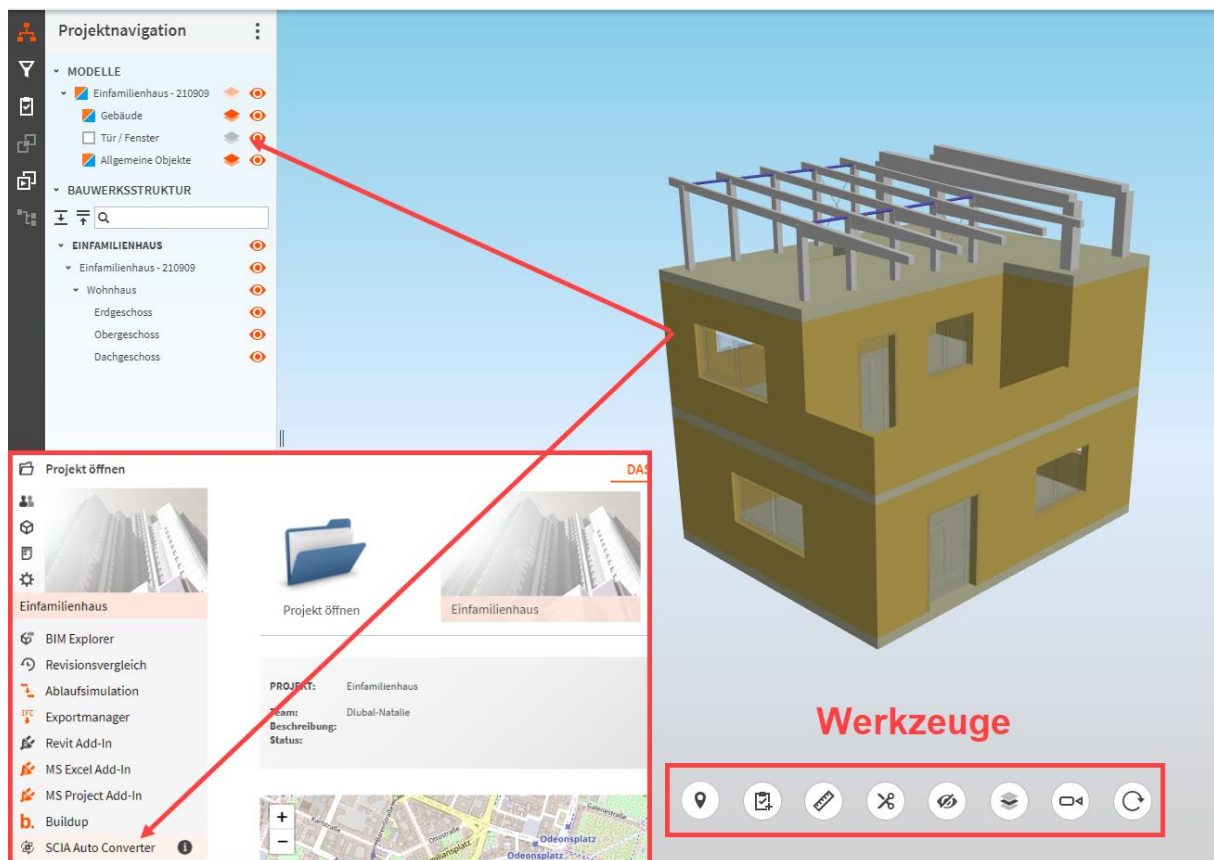


Abb. 5.30 IFC-Modell im Viewer von Bimplus sowie Ansteuerung des SCIA AutoConverters [84]

### 5.3.4 In SCIA Autoconverter

Ähnlich zu Bimplus funktioniert der SCIA AutoConverter als Viewer. Das importierte IFC-Modell wird aus Bimplus entnommen und zum SCIA AutoConverter transferiert. Dort wird das eingelesene IFC-Modell in ein Analysemodell umgewandelt und später als SAF-Datei exportiert. Anschließend kann das Modell nach bestimmten Kriterien gefiltert werden. Auch das Anzeigen der IFC-Attribute auf der rechten Seite ist durch das Auswählen eines Objektes möglich. So können alle Bauteile nach gewissen IFC-Attributen gefiltert und entfernt werden. Grundsätzlich ist der Prozess einer Umwandlung eines physikalischen Strukturmodells in ein idealisiertes Analysemodell in sechs Schritte aufgeteilt. Diese sind auch oben im Fenster zu erkennen und bieten eine Orientierung, was als nächstes zu tun ist. Nebenbei können im SCIA AutoConverter auch SAF-Dateien eingelesen werden. Hierbei können neben der Struktur auch Lasten und Ergebnisse angezeigt werden. Allerdings können diese nicht erzeugt, modifiziert oder ergänzt werden. Ein Hinzufügen von statischen Objekten wie Gelenken oder Auflagern ist ebenfalls nicht möglich.

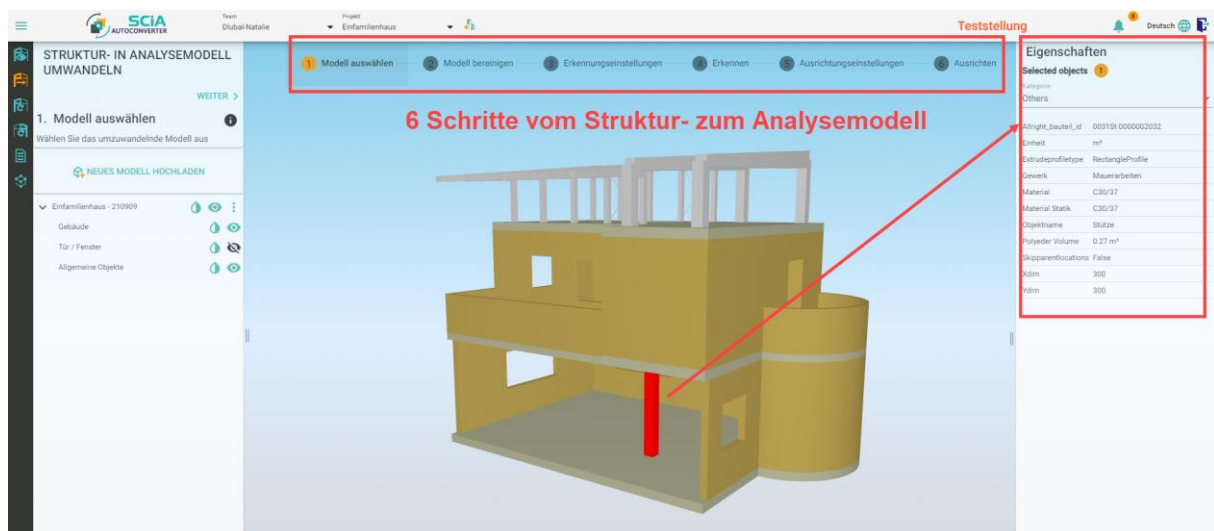


Abb. 5.31 SCIA AutoConverter – Oberfläche

Zu Beginn wird im **ersten** Abschnitt „**Modell auswählen**“ das Modell im Viewer angezeigt. Nachher folgt im **zweiten** Schritt „**Modell bereinigen**“ das Auswählen der für die Konvertierung zu berücksichtigenden IFC-Gruppen. In diesem Fall werden alle Wände, Decken, Stützen und Träger erkannt, lediglich die eigenständig modellierten 3D-Körper werden als Geometrieobjekte zugeordnet und sind anfangs nicht ausgewählt. Um die obere Dachkonstruktion vollständig umwandeln zu können, werden auch die 3D-Körper bei der Umwandlung beachtet.



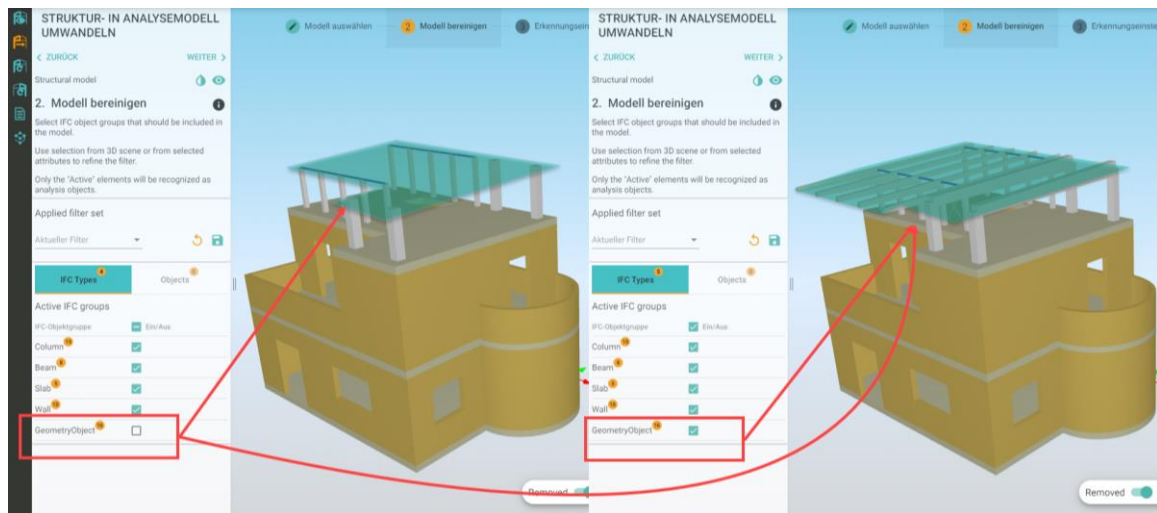


Abb. 5.32 Die 3D-Geometrieobjekte werden für die Konvertierung berücksichtigt

Der **dritte** Vorgang „**Erkennungseinstellungen**“ legt die Einstellungen für das Erkennen und Ausrichten von Modellelementen fest. Dabei wird festgelegt, welche Bauteilgruppen als 1D- oder 2D-Elemente erkannt werden sollen und welchen Typ sie als Tragelement besitzen. Hier wird eine genauere Spezifizierung vorgenommen, sodass die Stabelemente in der Dachkonstruktion den Typ Pfette erhalten. Die 3D-Geometrieobjekte werden in diesem Fall als 1D-Elemente ausgewählt. Gleichzeitig wird der Unterzug von einem 2D- zu einem 3D-Element geändert. Weiter können auch Querschnitte und Materialien ausgehend von den hinterlegten Informationen in den IFC-Daten gemappt werden. Durch ein intelligentes „*Smart Mapping*“ lassen sich automatisch die richtigen Querschnitts- und Materialeigenschaften zuordnen. Dabei ist es wichtig, dass die IFC-Objekte zuvor in Allplan richtig bezeichnet wurden, da es ansonsten zu Schwierigkeiten beim Erkennen der Materialien und Querschnitte kommen kann.

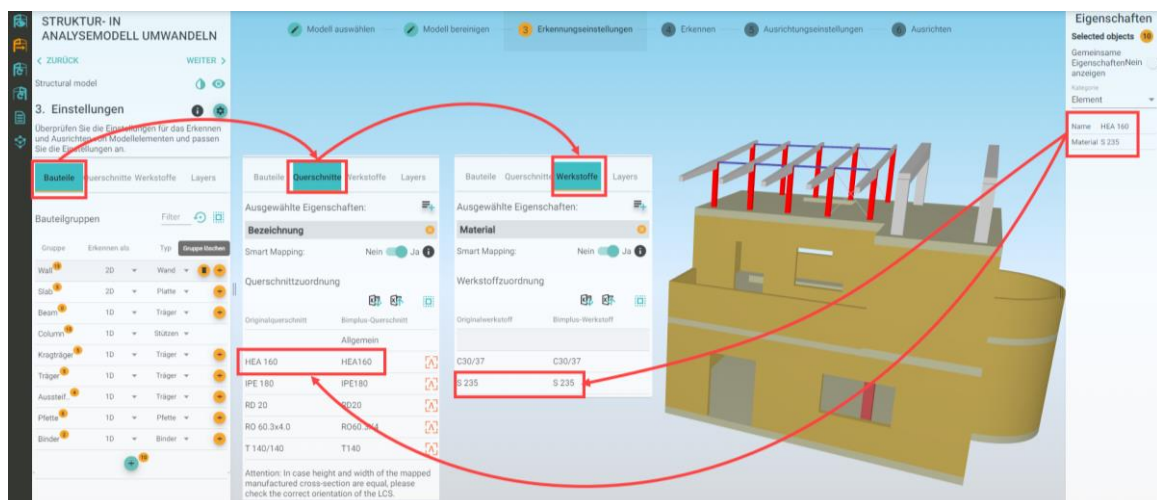


Abb. 5.33 Erkennungseinstellungen für Bauteile, Querschnitte und Werkstoffe

Anschließend wird in der **vierten** Aktion „**Erkennen**“ der Erkennungsprozess gestartet, bei dem Strukturobjekte in Analyseobjekte basierend auf den zuvor eingestellten Regeln konvertiert werden. Nach der Umwandlung erscheint das Analysemodell mit den idealisierten 1D- und 2D-Elementen, die jedoch nicht miteinander verbunden sind. Auf der linken Seite gibt es einen Ergebnisreport, der in diesem Fall auf ein nicht erkanntes Volumenobjekt hinweist. Bei der Halbkreisfläche bzw. der Brüstungswand war die Konvertierung nicht erfolgreich. Darüber hinaus wurde die Halbkreiswand nur teilweise in eine Fläche umgewandelt, die dabei in verschiedene Polygonflächen bzw. Polygolinien unterteilt wurde. Auf der rechten Seite befinden sich die Objekteigenschaften, die in der Datenstruktur des SAF-Formats geschrieben sind.

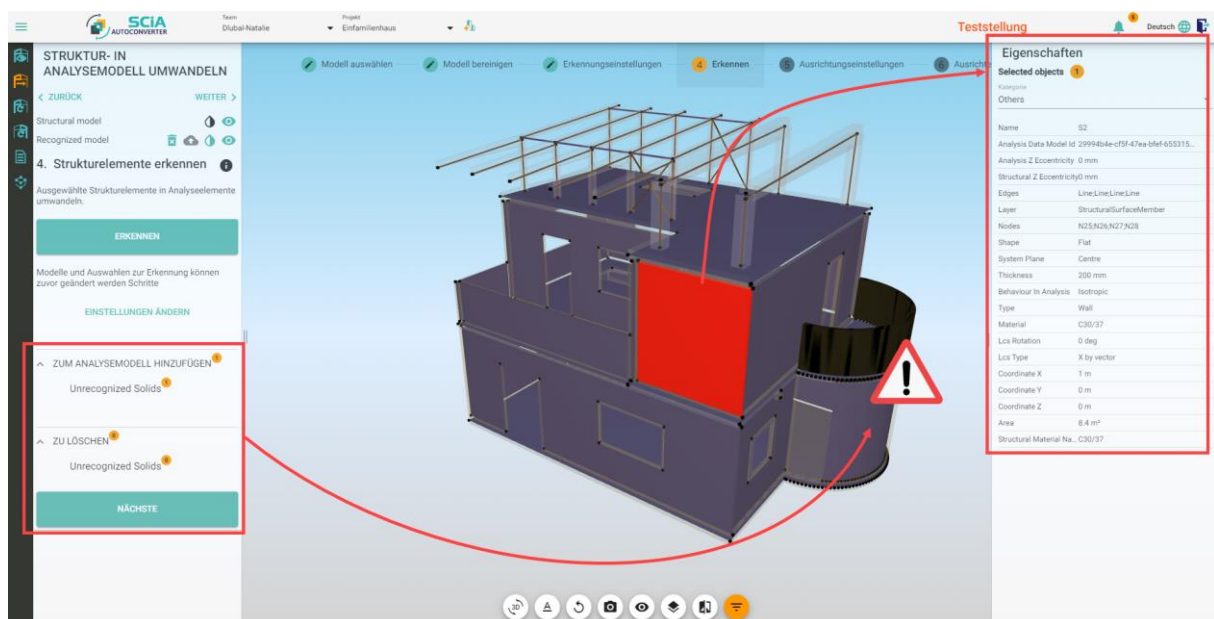


Abb. 5.34 Konvertiertes Analysemodell ohne Anpassung

Um nun für eine durchgängige Verbindung aller Elemente zu sorgen, wird im **fünften** Schritt „**Ausrichtungseinstellungen**“ die Position der Systemlinien und Systemebenen durch festgelegte Regeln angepasst. Hierbei ist es empfehlenswert, zuerst mit den voreingestellten Standardwerten das Ausrichten der Elemente zu beginnen. Hinterher kann bei Bedarf weiteres „Feintuning“ vorgenommen werden.

Die **sechste** und letzte Handlung ist das „**Ausrichten**“ des Analysemodells. Hierfür sucht das Programm Ausgangsebenen, woran sich die Bauteile orientieren und dementsprechend verschoben werden. Später werden die Lücken zwischen den Bauteilen geschlossen. Das Ergebnis der Konvertierung ist auf den ersten Blick überraschend gut. Bis auf die Halbkreiswand, die an ihren Enden nicht an die anderen Wände anschließt, sind alle Objekte miteinander verbunden. Die Halbkreiswand sorgt allerdings

für ein Problem. Die Bodenplatte ragt über die Wand hinaus und besitzt einen Überstand, da die äußere Halbkreisfläche sich auf die Außenkante der physischen Halbkreiswand bezieht. Somit verlängert es die Außenkante der Bodenplatte.

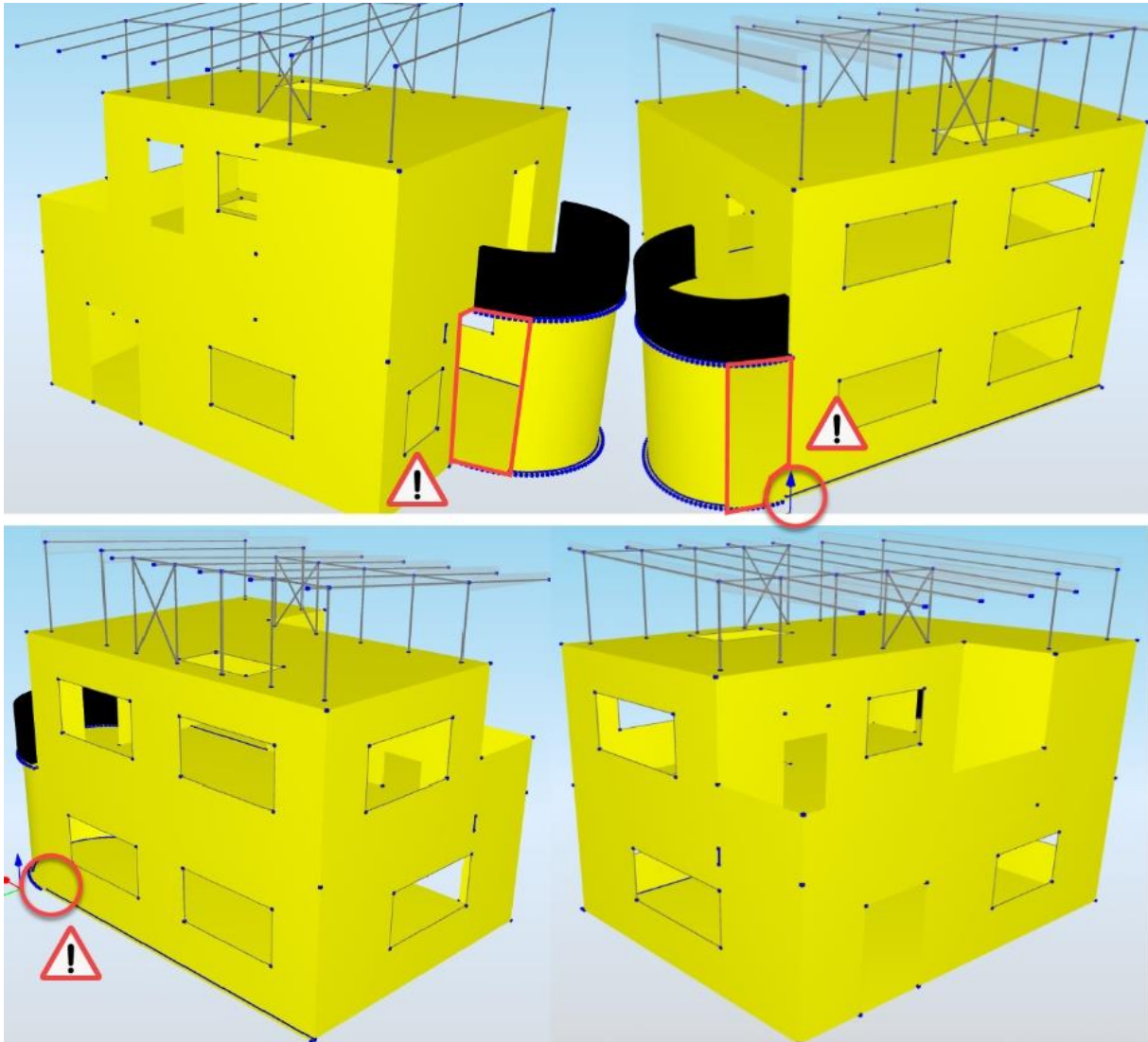


Abb. 5.35 Überarbeitetes und ausgerichtetes Analysemodell aus verschiedenen Ansichten

Abschließend kann das erstellte Analysemodell als SAF-Datei exportiert werden. Unglücklicherweise war es dem Autor mit der Testversion des SCIA AutoConverter nicht gestattet, mehr als 25 Elemente zu speichern. Das gewählte Modell ist zu groß bzw. die Halbkreiswand und deren Annäherung durch die Unterteilung in unendlich viele kleine Rechteckflächen sorgen für eine ansteigende Anzahl an Elementen. Um trotzdem einen Import in das Statikprogramm SCIA Engineer testen zu können, wird das Modell in vier Submodelle untergliedert, wobei jedes Modell als einzelne SAF-Datei



exportiert wird. Jene werden dann alle manuell in SCIA Engineer importiert und zusammengesetzt. Da die Halbkreiswand zu Komplikationen führte, wird diese aus SCIA AutoConverter nicht exportiert, sondern später in SCIA Engineer ergänzt.

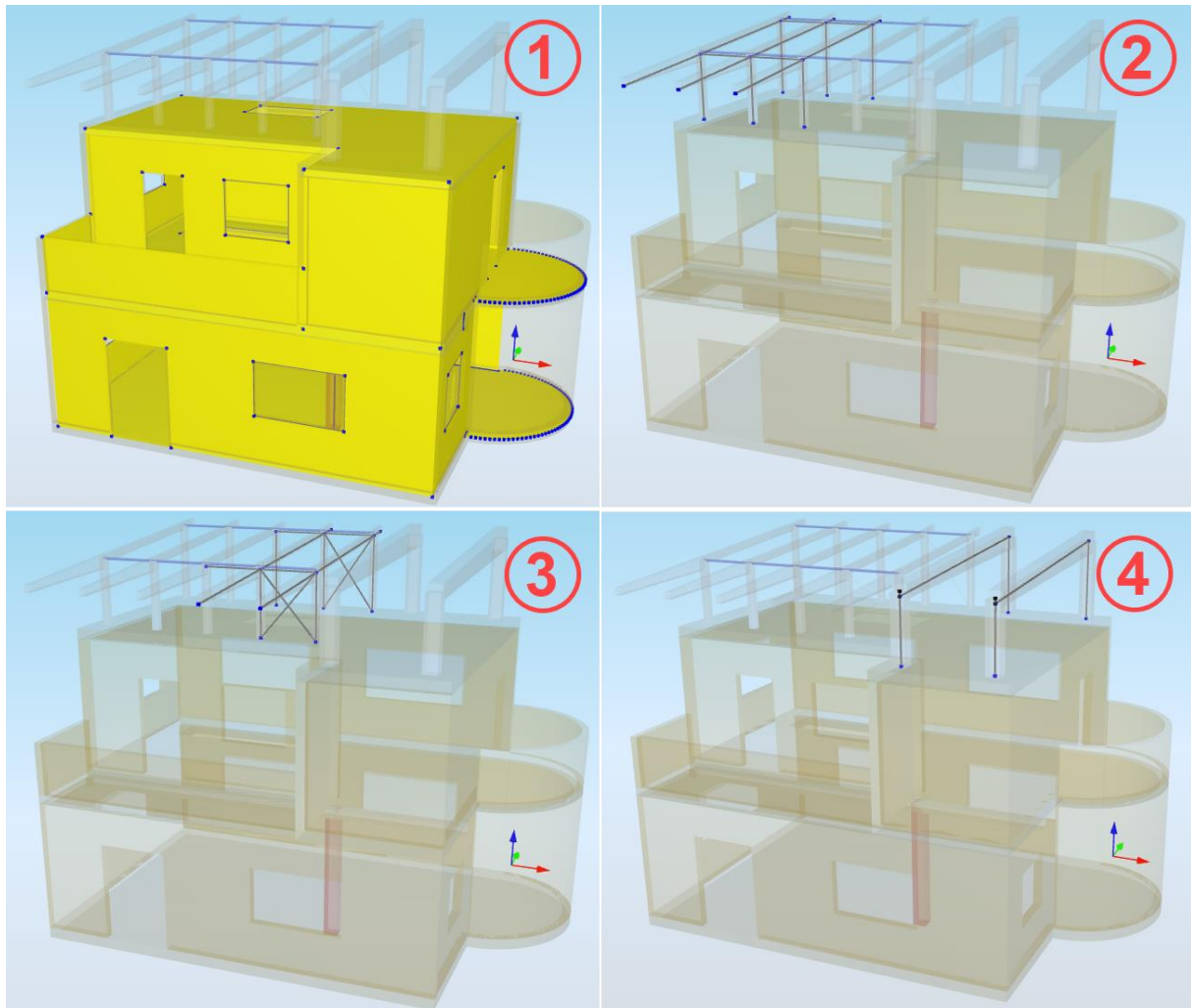


Abb. 5.36 Vier Teilmodelle für den SAF-Export [84]

### 5.3.5 In SCIA Engineer

Da die Studienversion hinsichtlich des SAF-Formats sehr limitiert ist, werden alle SAF-Dateien als neue Projekte erzeugt. Danach findet in den Tabellen von SCIA Engineer ein Mapping aller Struktur- sowie Material- und Querschnittsdaten statt. Hierfür erhalten die Knoten jedes Mal neu zugewiesene Knotenbezeichnungen, um sie in das erste bestehende Projekt einzupflegen. Damit werden falsche Referenzen vermieden, so dass die Stäbe aus den drei anderen Projekten nicht mit den Knotennummern aus dem ersten Projekt verwechselt werden. Nachdem alle SAF-Dateien zu einem Gesamtmodell erfolgreich überführt wurden, ist das erste unbearbeitete Ergebnis in Ordnung. Die Querschnitte und Materialien wurden alle erkannt. Die Strukturgeometrie sowie die

Verbindungen der Wände, Decken, Stützen und Träger scheinen auf den ersten Blick konsistent zu sein.

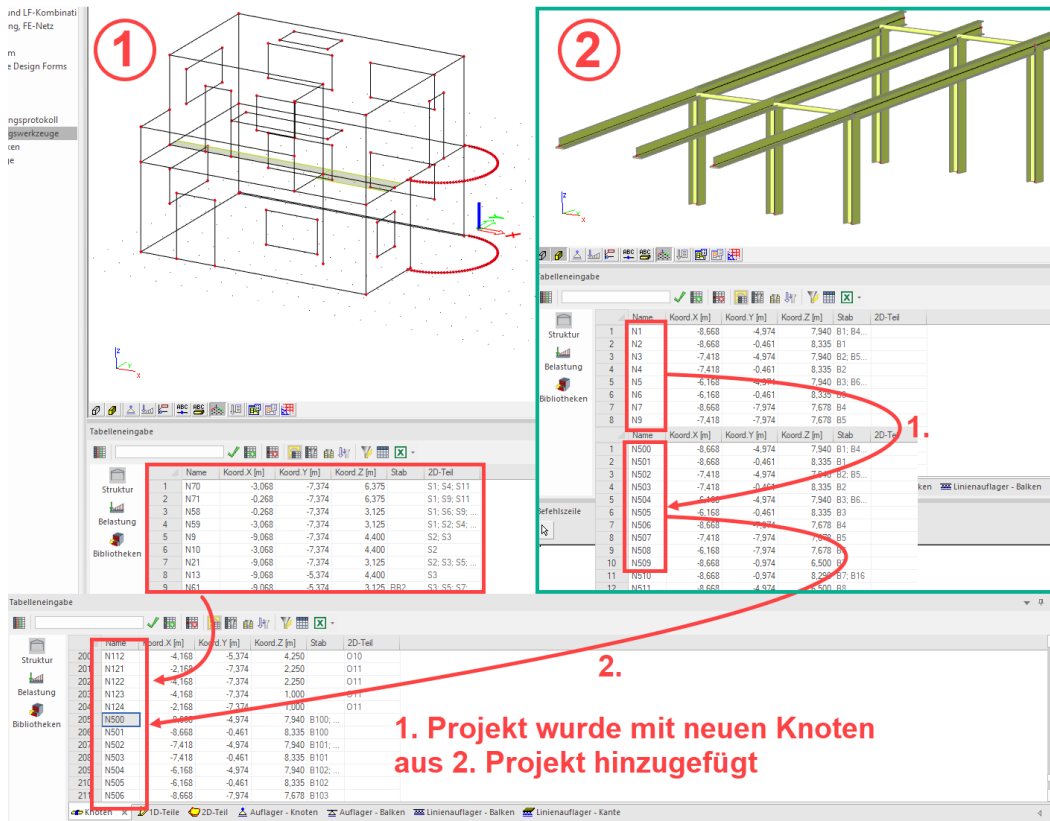


Abb. 5.37 Zusammenführen der einzelnen SAF-Dateien zu einem Gesamtmodell [84]

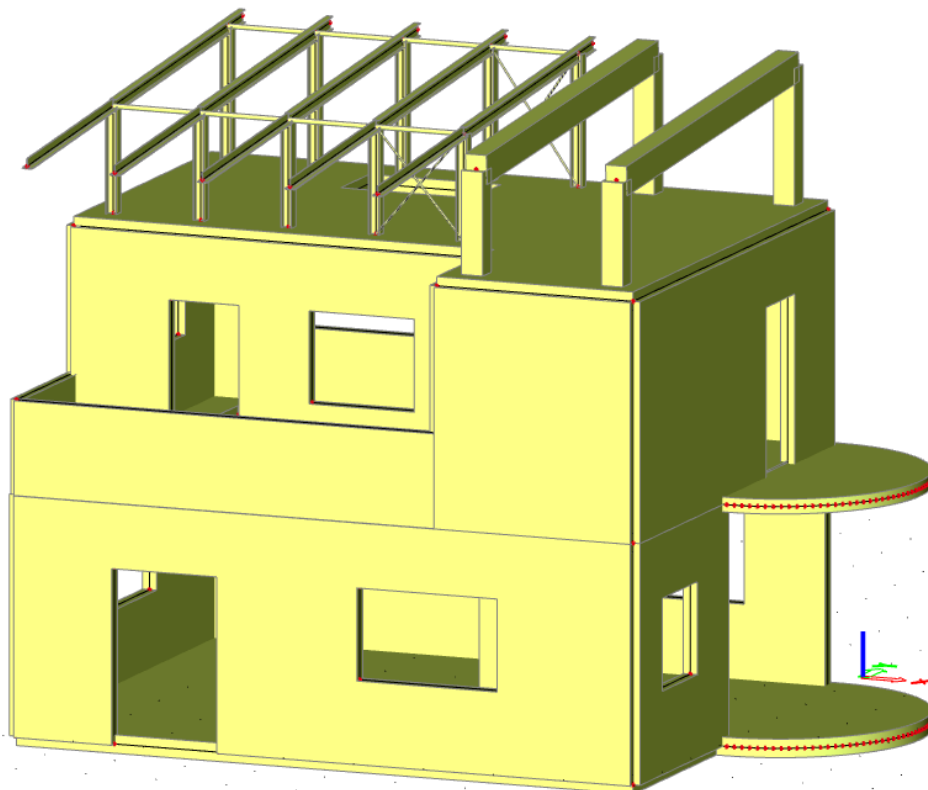


Abb. 5.38 Zusammengeführtes und unbearbeitetes Statikmodell in SCIA Engineer 21 [84]

Es müssen einige Anpassungen vorgenommen werden, da nicht alle Elemente zu hundert Prozent passen. Als erstes wird die Halbkreisfläche der Boden- und Deckenplatte bestehend aus mehreren Polygonzügen gelöscht und mit einem Halbkreisbogen neu erstellt. Anschließend wird die Halbkreiswand erzeugt. Im nächsten Nachbearbeitungsschritt werden die Fußpunkte der Stützen in der Dachkonstruktion an die Ebene der obersten Decke angeglichen. Der Grund, warum hier keine Verbindung zwischen den Stützen und der Decke bestand, war das separate Erstellen der Analysemodelle im SCIA AutoConverter. Somit fehlte der Bezug zum Gesamtmodell, sodass die Knoten nicht miteinander verbunden werden konnten. Die T-Profile wurden bei der Übergabe um 180 Grad falsch eingefügt, was an der Ausrichtung des lokalen Koordinatensystems in SCIA Engineer liegt. Die T-Profile wurden in parametrische T-Querschnitte umgewandelt und als gevoutete Träger an die Stützen angeschlossen. Ebenso wurde der linear veränderliche Querschnitt beim Stahlbetonbinder angepasst, dessen Querschnittshöhe fälschlicherweise in Feldmitte übernommen wurde.

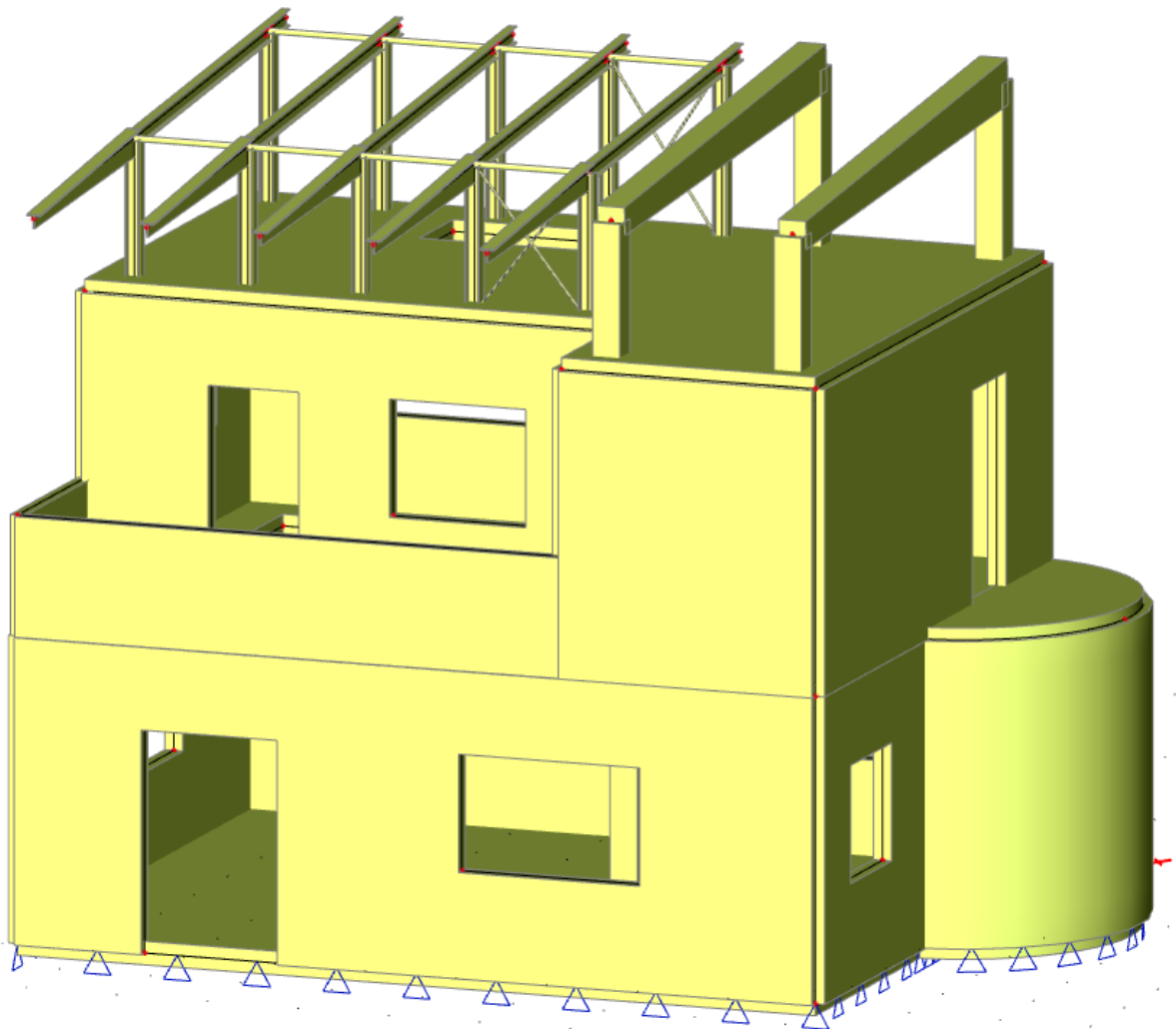


Abb. 5.39 Korrigiertes Statikmodell in SCIA Engineer 21 [84]

Die Plausibilitätsprüfung mithilfe einer Berechnung des Eigengewichts erscheint realistisch. Die Verformungsfigur zeigt eine klare Durchbiegung der Kragträger.

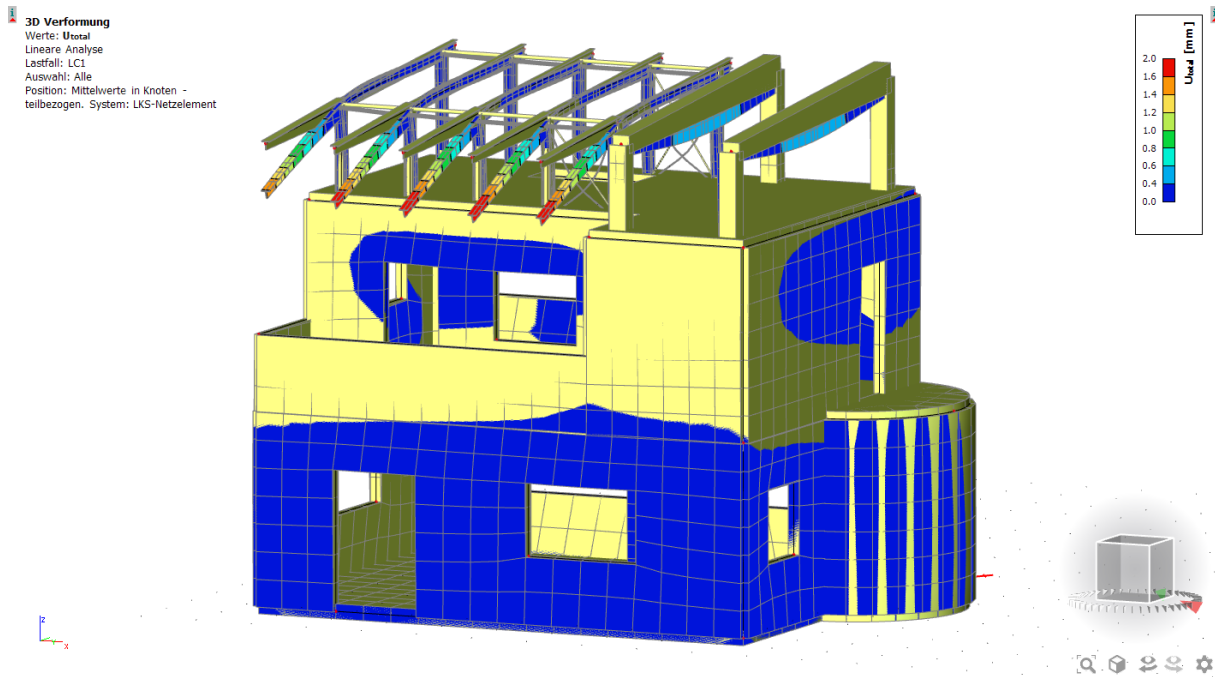


Abb. 5.40 Verformung im Lastfall Eigengewicht in RFEM 6 [84]

### 5.3.6 Überprüfung

Insgesamt wurde das Gesamtmodell annähernd fehlerfrei übergeben. Neben der Strukturgeometrie, darunter auch die **Öffnungen (Detail D)**, wurden alle wichtigen Tragelemente sowie deren **Verbindungen (Detail G)** korrekt erkannt. Wie schon in Archicad bereitete die Umwandlung der **Halbkreisfläche und Halbkreiswand (Detail E)** Probleme im SCIA AutoConverter. Dabei wurde die Halbkreisfläche in mehrere rechteckige Flächensegmente unterteilt, um sich einem Halbkreis anzunähern. Teilweise war diese Wand nicht vollständig und musste aus diesem Grund komplett neu erstellt werden. Viel besser dagegen lief die Konvertierung des **Deckensprungs (Detail A)** und des **Wandversatzes (Detail B)**. Die Schwerachsen aller Flächen konnten alle in einer Ebene berücksichtigt werden. Besonders praktisch erwies sich die automatische Umwandlung des **Plattenbalkens (Detail C)**, der sofort als Rippe erkannt und fehlerfrei in SCIA Engineer importiert wurde.

Leider konnten die **Vouten (Detail F)** nicht ohne Probleme vom SCIA AutoConverter nach SCIA Engineer übergeben werden. Hier musste manuell eine Voute im Statikprogramm SCIA Engineer erstellt werden. Außerdem musste das T-Profil um 180 Grad gedreht werden. Beim **Stahlbetonbinder (Detail F)** wurde wie in Archicad ebenfalls

nur die Querschnittshöhe in Feldmitte übernommen. Daher musste auch hier nachgeholfen werden, indem die Stahlbetonvoute manuell eingegeben wurde.

Strukturdaten	1	2	3	Bemerkung
Gesamtmodell	x			Entscheidend ist die Umwandlungsqualität im SCIA AutoConverter
Decken allg.	x			
Wände allg.	x			
Stütze allg.	x			
Träger allg.	x			
Materialien	x			Nutzung von Mapping-Tabellen sehr sinnvoll
Querschnitte	x			Nutzung von Mapping-Tabellen sehr sinnvoll
Detail A	x			Automatische Konvertierung im SCIA AutoConverter
Detail B	x			Automatische Konvertierung im SCIA AutoConverter
Detail C	x			Automatische Konvertierung im SCIA AutoConverter
Detail D	x			Fehlerfreie Datenübertragung
Detail E			x	Musste neu erstellt werden
Detail F			x	Musste manuell nachgebessert werden
Detail G	x			Keine nennenswerten Fehler

Abb. 5.41 Bewertungstabelle für das Datenaustausch-Szenario 1 [84]

### 5.3.7 Bewertung

Abgesehen von dem Aufwand jede einzelne SAF-Datei aufgrund der begrenzten Studentenversion in ein Gesamtmodell zu überführen, ist das Ergebnis des Datenaustausches im Ganzen recht positiv ausgefallen. Der Weg über den SCIA AutoConverter gestaltet sich für den Anwender als intuitives Werkzeug, mit dem IFC-Modelle in Analysemodelle konvertiert werden. Die Umwandlung geschieht dabei nahezu automatisiert, indem sie sich durch eine schnelle und einfache Erstellung von Analysemodellen

auszeichnet. Das Strukturmodell wurde nahezu vollständig in ein Analysemodell umgewandelt, nur bei der Halbkreisfläche, deren Wand nicht komplett erkannt wurde und nur teilweise in Flächen zerlegt wurde, kam es zu Problemen. Ebenso mussten die Vouten nachträglich ergänzt werden. Bei weiteren Austauschversuchen konnte unter anderem festgestellt werden, dass das Programm Schwierigkeiten bei der Umwandlung von nicht ebenen Flächen mit mehr als vier Kanten hat. Weiterhin unterstützt der SCIA AutoConverter keine Konvertierung von Spline-Linien.

#### 5.4 Zwischenfazit

Die gerade gezeigten Beispiele beweisen, dass das SAF-Format in der Praxis flexibel eingesetzt werden kann. Auf der einen Seite können sich die Ingenieure Analysemodelle in CAD-Programmen wie Archicad erstellen lassen. Auf der anderen Seite können mithilfe des SCIA AutoConverters IFC-Modelle in Analysemodelle umgewandelt werden. Beide Wege führen zu einer Ausgabe der SAF-Datei, die dann in die Statikprogramme importiert werden kann. In Archicad haben die Anwender selbst einen großen Einfluss auf die Qualität des Analysemodells, weil sie durch beliebig viele Regeln alle Bauteile für sich optimieren können. Dies führt zu einer besseren Kontrolle, wenn CAD-Programme Analysemodelle mitführen und dabei den Anwendern manuelle Einstellungsmöglichkeiten zur Anpassung von Knoten- und Elementverbindungen bereitstellen. Weiterhin kann festgehalten werden, dass sich die CAD-Programme für Tragwerksplaner als sehr mächtig erweisen, wenn diese über integrierte Analysemodelle verfügen. Andere CAD-BIM-Programme wie Revit und Tekla Structures, die auch Analysemodelle besitzen, könnten von der Implementierung des SAF-Formats profitieren. Während Archicad als aktuell einzige CAD-Software einen Export von SAF unterstützt, gibt es viele CAD-Hersteller, die es noch nicht können. Hier kommt der SCIA AutoConverter ins Spiel, denn damit lässt sich jede BIM-fähige CAD-Software ansprechen, die zumindest IFC-Modelle ausgeben kann. Somit können auch Fachplaner teilnehmen, deren CAD-Programme es bisher nicht zugelassen haben, mit SAF-Dateien zu arbeiten. SCIA AutoConverter lässt sich leicht bedienen. Die vorgegebenen Schritte helfen die jeweilige Handlung zu verstehen und durchzuführen. Weiterhin ist das Umwandeln per Mausklick eine enorme Zeitersparnis und geschieht somit deutlich schneller als in Archicad. Allerdings hat der Nutzer bei weitem weniger Kontrolle über die Art der Umwandlung als in Archicad, aufgrund der weniger leistungsfähigeren Ausrichtungseinstellungen.

Das Erstellen und Konvertieren von Analysemodellen konnte mit beiden Werkzeugen gut durchgeführt werden. Die Qualität war äußerst gut, vor allem vertikale Wände und Stützen sowie horizontale Decken und Träger wurden gut übergeben. Obwohl der Großteil der allgemeinen Struktur richtig umgewandelt wurde, gibt es mit der Konvertierung von Vouten, linear veränderlichen Querschnitten und Halbkreisen noch Verbesserungspotential. Trotzdem wird mit dem SAF etwa 80% des klassischen Hochbaus recht gut abgedeckt, da viele Gebäude aus rechteckigen Geometrien bestehen.

Ausgesprochen vorteilhaft beim SAF ist die schnelle Überprüfung der Daten, indem es mit Excel geöffnet werden kann. Dabei können kleine Änderungen oft problemlos angepasst werden. Das spart Zeit bei der Überarbeitung von Modellen und vermeidet das ständige Ändern im Autorenprogramm und Austauschen von Modellen.

Hingewiesen wird bei der Verwendung solcher Programme auch an die Vernunft der Ingenieure und Statiker, die Konvertierungsergebnisse kritisch zu hinterfragen. Oft ist es nicht ersichtlich, was sich im Hintergrund in der Konvertierung von Analysemodellen abspielt, sodass die Programme eine Art Blackbox abbilden. Somit warnen gerade erfahrene Ingenieure in Aufsätzen und Vorträgen vor einer unbedenklichen Computergläubigkeit. [31] Denn ein fertig ausgegebenes Analysemodell ist bei weitem noch nicht vollständig. Es benötigt nach wie vor noch das ingenieurmäßige Verständnis über das daraus entstehende statische Berechnungsmodell und seine mechanische Vollständigkeit.



## 6 Empfehlungen für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung

Dieses Kapitel baut auf den vorherigen Kapiteln auf und gibt dem Leser Empfehlungen für eine BIM-gestützte Tragwerksplanung. Diese Empfehlungen beziehen sich auf jeweils unterschiedliche Projektphasen, angefangen mit den Festlegungen vor einem Projektbeginn über die Vor- und Entwurfsplanung bis hin zur Genehmigungs- und Ausführungsplanung. Die Empfehlungen basieren auf Erfahrungen, die der Autor aus der täglichen Arbeit in einem Statiksoftwareunternehmen über mehrere Jahre sammeln konnte. Ferner werden noch weitere informative Literaturen für die Erstellung dieses kleinen Leitfadens in Anspruch genommen.

### 6.1 Vor Projektbeginn

Bevor an einem BIM-Projekt teilgenommen wird, ist es empfehlenswert eine Art „Inventar“ zu erstellen, um Folgendes festzuhalten:

#### 1. Softwareausstattung

Die Software ist die Grundlage für die Teilnahme an einem BIM-Prozess. Deshalb ist es von elementarer Bedeutung, sich einen Überblick darüber zu verschaffen, ob sich die eigene vorhandene Softwarelandschaft für eine BIM-orientierte Planung eignet. Mittels Evaluationen verschiedener Softwarelösungen sollten die Anforderungen im Hinblick auf BIM-Kompatibilität überprüft und mit der derzeitigen IT-Infrastruktur gegenübergestellt werden. Anhand einfacher Austauschmodelle und Tests können die Computerprogramme verifiziert werden. Unter anderem sollten folgende Fragen beantwortet werden: Welche Formate kann die Software verarbeiten? Welche Schnittstellen können bedient werden? Wie gut ist der Datenaustausch mit anderen Programmen? Vor allem, wenn es um das Thema Open BIM geht, sollten offene Austauschformate wie IFC von den Programmen unterstützt werden. [77]

#### 2. Erfahrung des Teams & Rollenverteilung

Eine maßgebende Rolle für eine erfolgreiche BIM-Abwicklung ist das Planungsteam. Hierbei werden bei den Ingenieuren und Konstrukteuren vertiefte BIM-Kenntnisse vorausgesetzt. Die Erfahrung kann durch die Teilnahme an Fort- und Weiterbildungen gesteigert werden. Gleichzeitig sollte das gesammelte

BIM-Wissen für das ganze Planungsbüro und dessen Teammitglieder zugänglich gemacht werden, um somit für zukünftige Projekte bestens gewappnet zu sein. Außerdem sollten auch einige Planer Rollen, etwa die des BIM-Koordinators, einnehmen, sodass bei BIM-Projekten ein Experte seitens der Fachplanung als Ansprechpartner zur Verfügung steht. Gleichzeitig empfiehlt es sich bei geringer Erfahrung an Pilot-Projekten, sich langsam an die Methodik BIM heranzutasten.

### **3. Modellierungsleitfäden der Programme & Bauteilbibliotheken**

Viele Softwareanbieter stellen Modellierungsleitfäden für ihre Programme bereit. Diese sollten genutzt und gelesen werden, um einen praxisnahen und effizienten Einsatz der Software zu erzielen. Modellierungsrichtlinien zu Allplan [78], Revit [36] und Archicad [79] können dem Literaturverzeichnis entnommen werden. Ebenso empfehlenswert sind der Aufbau und die Pflege eigener Bauteilbibliotheken und Assistenten. So können auf der einen Seite mittels Bibliotheken Wiederholungen von Arbeitsschritten vermieden werden. Auf der anderen Seite wird so eine einheitliche Qualität der Daten in Bezug auf Geometrie und Attribute in den Projekten erzielt. [11]

## **6.2 Bei Projektbeginn**

Zu Beginn eines jeden BIM-Projekts ist es ratsam, in Kick-off-Meetings gemeinsame Ziele festzulegen, alle Partner kennenzulernen und die nächsten Arbeitsabläufe zu planen. Dabei kommt es im Wesentlichen auf folgende Punkte an:

### **1. Präzise Ausarbeitung von BAP's und AIA's**

Bei Projektbeginn sollten die Ziele und Strategien in den BIM-Abwicklungsplänen (BAP) und den Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) klar festgelegt werden. Unerlässlich ist dabei die klare Kommunikation mit den Auftraggebern und den Auftragnehmern, sodass auch die BIM-Varianten und deren Durchführung jedem verständlich mitgeteilt werden. Angefangen von Little BIM und Closed BIM über kombinierte Varianten wie Closed little BIM bis hin zu BIG Open BIM kann die richtige Wahl dieser Methoden über den Erfolg eines Projektes entscheiden. Außerdem muss geklärt werden, welche Detaillierung und welcher Informationsgehalt zum jeweiligen Projektzeitpunkt notwendig ist. [80] Als passende Formulierung sollte betont werden, dass die Nutzung des Fach-

modells „Tragwerksplanung“ die Grundlage für die Bemessung und Nachweisführung bildet. Nach der statischen Berechnung werden die Ergebnisse in das Tragwerksmodell eingespielt. Mit Ergebnissen sind hier Geometrie, Abmessungen der tragenden Bauteile, Material und Querschnitte gemeint.

## **2. Kommunikation als erfolgskritischer Faktor**

In Bauprojekten gibt es momentan zahlreiche Kommunikationsschnittstellen, über die Ergebnisse der Projektentwicklung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer ausgetauscht werden. Gerade bei Planungsgesprächen mit anderen Projektbeteiligten ist es von Vorteil, wenn die Organisation und die Festlegung des Besprechungsablaufs in Form der methodischen Gestaltung, des Aufstellens einer Agenda, der Zieldefinition sowie der Festlegung von Teilnehmern, Ort, Zeit und Raum der Besprechung geschieht. Weiterhin kann es für einen zielgerichteten Kommunikationsprozess sinnvoll sein, dass Dateiformate, Kommunikationswege und IT-gestützte Kollaborationssysteme verwendet werden. Auch der Einsatz von 3D-Modellen in Planungsbesprechungen dient als verständliche Daten- und Planungsgrundlage für alle Beteiligten und führt zu schnelleren Besprechungsergebnissen und größerem Planungsverständnis [101].

## **3. Definieren von Arbeitsabschnitten**

Hier sollte der Frage nachgegangen werden, wer wann in welchem Modellbereich arbeitet. Da in der Regel mehrere Beteiligte in unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes arbeiten, treten schnell Koordinationsprobleme auf. Wer übernimmt die Verantwortung bei Fehlern oder Änderungen? Daher ist eine klare und strukturierte Arbeitsteilung und eine transparente Kommunikation unter den Fachplanern erforderlich, um eine durchgängige Kommunikation zu gewährleisten. Weiterhin sollte eine gleichzeitige Bearbeitung identischer Bauteile vermieden werden. Auf diese Weise kann eine bessere Übersicht gewahrt werden, ohne den aktuellen Stand der Planung zu gefährden. [29]

## **6.3 Vorplanung**

Die Vorplanung dient als wohl wichtigster Wegbereiter für die nächsten Leistungsphasen. Allen Teilnehmern muss bewusst sein, dass nicht mehr gezeichnet und in Plänen gedacht wird, sondern eine Modellierung von Modellen von nun an stattfindet. Kleine Fehler in dieser Phase wirken sich auf den gesamten Projektverlauf aus und werden

mit der Zeit immer gravierender und schwerer zu korrigieren. Daher sollten die untenstehenden Kriterien beachtet werden:

### **1. Frühes Einbinden des Tragwerksplaners**

Die BIM-gestützte Planungsmethode erfordert ein frühes Einbinden des Tragwerksplaners. Durch die Arbeitsvorverlagerung arbeiten Architekten und Ingenieure schon zu Beginn zusammen. Bereits während der Modellierung kann der Tragwerksplaner in Absprache mit dem Objektplaner eine Unterscheidung von tragenden und nichttragenden Bauteilen festlegen, sodass bereits von Anfang an eine sinnvolle Modellierung für Architektur und Statik stattfinden kann. [82]

### **2. Arbeiten mit Viewern**

Im Rahmen der Vorplanung ist es ratsam mit Viewern zu arbeiten, um visuelle Darstellungen der Modelle anzeigen lassen zu können. Damit können anfangs verschiedene Tragwerksvarianten mit optischer Begleitung besprochen werden, was den Entscheidungsprozess vereinfacht. [20]

### **3. Tragwerksmodell als Fachmodell**

Wichtig für die statische Berechnung ist, dass bei der Übergabe von Modellen auch wirklich nur das für den Berechnungsingenieur relevante Tragwerksmodell übergeben wird. Daher muss eine Auswahl an Tragelemente erfolgen, die die jeweilige Software auch als statisch tragend kennzeichnen kann. Beim IFC müssen somit zusätzliche Attribute definiert werden. Bei Programmen wie Revit, Archicad und Tekla Structures müssen die Bauteile für das Analysemodell aktiviert werden. [49]

## **6.4 Entwurfsplanung**

### **1. Austausch von Modellen**

Vor einem Datenaustausch sollte anhand eines Kriterienkatalogs überprüft werden, wann welche Daten wie ausgetauscht werden. Sollen nur geometrische Abmessungen und statische Systemlinien übergeben werden oder sollen die Analysemodelle mit weiteren statischen Informationen angereichert werden, etwa mit Gelenken, Auflagern und Lasten? Grundsätzlich sind Statikprogramme besser dafür geeignet. Es ist empfehlenswert das Exportergebnis eines CAD-Programms zu überprüfen, bevor die IFC-Datei an Planungspartner weitergegeben wird.

Dazu werden spezielle IFC-Viewer angeboten, mit denen die Bauwerksstruktur,

An- oder Aufsichten, das 3D- Modell und die Eigenschaften von Bauteilen betrachtet werden können.

Später muss das für die Tragwerksberechnung entstehende Teilmodell in der Regel weiterbearbeitet werden. Nicht verbundene Träger und Stützen müssen entweder verschoben oder über Koppелеlemente verbunden werden. Gleichzeitig müssen Wände und Decken angeschlossen werden, wenn deren Systemachsen sich nicht in einer Schnittkante treffen. [49]

## **2. Erkennen von Systemlinien und -ebenen**

Eine zentrale Frage, die sich Statiker immer stellen sollten, ist die Lage der Systemlinien und -ebenen von Bauteilen. Wegen der Reduktion auf Stäbe, Platten und Scheiben kann es unter anderem passieren, dass durch unterschiedliche Bauteilhöhen, Zuschnitte und Verbindungen keine konsistenten, in einem Punkt verbundene Schwerelinienmodelle entstehen können. Somit muss bei der automatischen Generierung von Analysemodellen in den CAD-Programmen ein besonderes Augenmerk auf die Qualität und Sinnhaftigkeit der angeschlossenen Struktursysteme gerichtet werden. Gegebenenfalls sind weitere Anpassungen und Modifikationen entweder im BIM-Programm oder in der Statiksoftware notwendig. [15]

## **3. Mapping-Tabellen**

Es ist erforderlich, Mapping-Tabellen für die unterschiedlichen Programme zu führen, die auch mit anderen Planern geteilt werden können. Einmal erstellt, sorgen sie für die richtige Übertragung von Querschnitts- und Materialeigenschaften. [29]

## **6.5 Genehmigungsplanung**

BIM beeinflusst zwar den Ablauf in der Tragwerksplanung, ändert allerdings wenig an der Durchführung statischer Berechnungen. Letzteres bleibt nahezu unberührt, lediglich der Umgang mit 3D-Gebäudemodellen, FE-Modellierungen und Plausibilitätsprüfungen, die im Nachfolgenden erläutert werden, gewinnt zunehmend an Bedeutung.

### **1. Statische Berechnungen am 3D-Gesamtmodell**

Bei einer Planung mit der BIM-Methode ist es nicht zwingend erforderlich die Tragwerksanalyse auch an einem 3D-Gesamtmodell durchzuführen. Trotzdem sollten sich die Statiker mit den Effekten von dreidimensionalen Tragwerken

vertraut machen. Dazu gehören neben einem möglichen Heranziehen von Bauzuständen auch das Einbeziehen der Boden-Bauwerk-Interaktion sowie weitere nichtlineare Effekte, die Einfluss auf die Steifigkeit und das Tragverhalten der Struktur nehmen. In der Praxis hat sich zudem gezeigt, dass eine statische Berechnung an einem Gesamtmodell nur in einigen Fällen Sinn macht. Vielmehr ist das Herauslösen einzelner Teilsysteme aus einem größeren Bauwerk erfolgsversprechender, um diese unter Berücksichtigung der Randbedingungen als übersichtliche 2D-Systeme zu berechnen. Jedoch erfordert das richtige „Herauslösen“ Kenntnisse im Hinblick auf die Modellbildung der FE-Struktur. Aktuell lassen sich mit vielen BIM-Softwaresystemen Gesamt- oder Teilmodelle mittels direkter Schnittstellen exportieren. Austauschformate wie IFC und SAF erlauben es ebenfalls, Teilmodelle auszugeben. Somit ist es dem Tragwerksplaner überlassen, welche Methoden für die Tragwerksanalyse benutzt werden.

## **2. Modellierungen und Berechnungen mittels FEM**

Die meisten Fehler bei FE-Berechnungen werden bei der Modellbildung begangen. Während bei Balkenelementen auf Diskontinuitätsbereiche geachtet werden muss, treten bei Flächenelementen häufig Probleme mit Singularitäten auf. Gleichzeitig sind Eingangsgrößen für die Bildung von statischen Systemen festzulegen, wie z. B. Materialparameter (linear oder nichtlinear), Lagerungsbedingungen (starre oder elastische Lagerung) und Gelenke (frei beweglich oder nachgiebig). Insofern müssen Statiker über ausreichend Kenntnisse in der FE-Theorie verfügen, um ausreichend genaue und interpretierbare Ergebnisse berechnen zu können. [83] [17]

Neben der Modellbildung beschäftigen sich die Berechnungsingenieure auch mit der Wahl der Berechnungsmethoden. Wird die Berechnung nach der schubstarreren Theorie (Kirchhoff & Bernoulli) oder nach der schubweichen Theorie (Reissner-Mindlin & Timshenko) durchgeführt? Ist eine Berechnung am unverformten Tragwerk zulässig? Handelt es sich um eine statische, dynamische oder Stabilitätsberechnung? Antworten zu diesen Fragen und weiteren Hinweisen zur praktischen Anwendung der Finite-Elemente-Methode finden sich in folgenden Literaturen [17] [31] [32] [34] [37] [38] [83].

### 3. Plausibilitätskontrollen

Je mehr mit dreidimensionalen Modellen gearbeitet wird, desto wichtiger wird die Prüfung und Kontrolle der Ergebnisse. Hierzu bedarf es im Allgemeinen einer ausführlichen Qualitätssicherung von computerorientierten Berechnungen, die beispielsweise aus untenstehenden Schritten bestehen könnte [83]:

- Plausibilitätsprüfungen der Strukturgeometrie und der Verformungsfigur
- Überprüfung der Modellannahmen (lineare Dehnungsverteilung, Diskontinuitätsbereiche, Singularitäten)
- Kontrolle der Einwirkungen und Lasten
- Gleichgewichtskontrollen bei Vertikal- und Horizontallasten
- Kontrolle der FE-Netzunabhängigkeit der Ergebnisse durch Berechnung mit unterschiedlichen Elementgrößen
- Vergleichsberechnungen mit Ersatzmodellen, gegebenenfalls mit Handrechnung

## 6.6 Ausführungsplanung

Dank der dreidimensionalen Nutzung von Gebäudemodellen entstehen für Ingenieure und Konstrukteure insbesondere für die Ausführungsplanung wesentliche Vorteile, die durch nachfolgende Punkte mit Empfehlungen ergänzt werden:

### 1. Ableiten von Ausführungsplänen

Die Grundlage für das Ableiten von zweidimensionalen Ausführungsplänen ist das Tragwerksmodell, das während der Planungszeit mit Informationen aus allen Leistungsphasen gepflegt wird. Der erhöhte Aufwand in den vorherigen Phasen steht nun einer Erleichterung in der Erstellung von Ausführungsplänen gegenüber. Dabei werden Grundrisse und Schnitte direkt aus dem 3D-Modell abgeleitet und geben immer den aktuellen Planungsstand wieder. Es ist daher nach jedem Ableiten empfehlenswert, die Geometrie auf Plausibilität und Brauchbarkeit zu überprüfen. [21]

### 2. Bemaßungen für Schalpläne

Bei der Erstellung von Schalplänen muss der Anwender überlegen, welche Schnitte und Ansichten er auf dem Plan angezeigt haben möchte. Bemaßungen müssen aus abgeleiteten Modellen zusätzlich ergänzt werden und so interpretiert werden können, dass diese Pläne nicht nur die Ingenieure und Konstrukteure verstehen, sondern auch die Bauarbeiter auf den Baustellen. [10]



### **3. Automatische Bewehrungsplanung**

Mittlerweile können durch BIM-Modelle auch Bewehrungsmodelle erstellt werden, aus denen 2D-Bewehrungspläne abgeleitet werden. Entscheidend dabei ist, dass die Eisen auf den Bewehrungsplänen nur symbolisch dargestellt werden. Daher ist es umso wichtiger, notwendige Informationen, die durch die automatische Generierung von Bewehrungsplänen verloren gegangen sind oder nicht erstellt wurden, zu ergänzen, um eine sinnvolle Darstellung für die Baustelle sicherzustellen. [10]

### **4. Erzeugung von 3D-Plänen**

Neben der aufwendigen Ableitung von 2D-Plänen aus dem 3D-Modell, ist das Erzeugen eines 3D-PDF's ein optionaler Zukunftsweg, Informationen über die einzelnen Bewehrungspositionen abzurufen. Hierbei kann der Betrachter die Blickrichtung frei wählen und die Sichtbarkeit einzelner Elemente steuern. Somit wird es den Projektbeteiligten ermöglicht, Anleitungen zum Zusammenbau von Bewehrungen als 3D-PDF auf Tablets zu öffnen.

## 7 Fazit

Die Arbeitsmethode Building Information Modeling verbindet alle Projektbeteiligten zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit anhand digitaler Bauwerksmodelle, die über den gesamten Lebenszyklus mit Daten repräsentiert werden. Somit dient BIM nicht nur als Werkzeug für das Informationsmanagement, sondern kann auch als Planungswerkzeug für einen interoperablen Prozess in der Projektabwicklung betrachtet werden. [14] Zu den Projektbeteiligten gehören auch die Tragwerksplaner, die zwar nur einen kleinen Teil der Fachplaner ausmachen, dafür aber mit der Gewährleistung der Standsicherheit von Gebäuden, die wohl wichtigste Disziplin stellen.

Obwohl der allgemeine Ablauf einer Tragwerksanalyse nahezu unverändert bleibt, sind einige Ingenieure in der Anwendung der BIM-Methodik noch zurückhaltend und das häufig aus gutem Grund. Neben der stärkeren Auseinandersetzung mit dreidimensionalen Berechnungen von räumlichen Gesamtmodellen ist auch der Austausch von Statikmodellen sowie die Ableitungen von Analysemodellen aus dem Tragwerksmodell eines der wichtigsten Anwendungsgebiete in der statischen Berechnung von Bauwerken. Letzterer Anwendungsfall entscheidet dabei auch, welche Planungsweise verwendet wird. Während das Closed BIM-Szenario mit der Verwendung direkter Schnittstellen nach wie vor die größten Anhänger findet, gibt es nur wenige Statiker, die in einem Open BIM-Prozess neutrale Austauschformate verwenden. Zu schwach gestaltet sich der Austausch von Statikmodellen basierend auf IFC-Daten.

Der Verbesserung dieser Tatsache hat sich ein Team von Nemetschek und SCIA angenommen und das SAF-Format ins Leben gerufen. Das Excel-basierte SAF-Format dient als einfaches, leicht verständliches und lesbares Format für die üblichen Arbeitsprozesse in der Tragwerksplanung. Es ist auf einem guten Weg, sich in der Welt der Ingenieure festzusetzen, zumal es sich sehr gut für einen Austausch von Statikmodellen eignet. Trotzdem bedarf es hier noch Arbeit in der Erlangung eines größeren Bekanntheitsgrades.

Die in der Arbeit gezeigten Austauschszenarien haben klargestellt, dass integrierte Analysemodelle in CAD-Programmen eine effektive Möglichkeit sind, Statikmodelle in hoher Qualität automatisch generieren zu lassen. Alternativ können auch IFC-Modelle in Analysemodelle konvertiert werden, sodass alle BIM- und IFC-exportfähigen CAD-

---

Programme angesprochen werden können. Infolgedessen kann das SAF-Format in Kombination mit IFC-Modellen ein wahres Verbesserungspotential für einen Open BIM-Prozess in der Tragwerksplanung sein.

Somit steht einer BIM-gestützten Tragwerksplanung neben einigen kleinen Herausforderungen nichts mehr im Wege, um sich in Zukunft mithilfe offener Austauschformate auch bei allen Ingenieuren und Statikern zu etablieren.

## Literaturverzeichnis

- [1] **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 15.02.2021].
- [2] **Bischof, Moritz; Mombree, Benjamin** (2020): BIM und Digitalisierung der Bauwirtschaft – Stand und Perspektiven der gegenwärtigen staatlichen Initiativen in Deutschland, <https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=News.show&id=807> [Abruf am 15.02.2021].
- [3] **DIN EN ISO 19650-1:2019-08**, Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) - Informationsmanagement mit BIM - Teil 1: Begriffe und Grundsätze (ISO 19650-1:2018); Deutsche Fassung EN ISO 19650-1:2018.
- [4] **Bayerische Architektenkammer**: BIM – Standards und Normen, <https://www.byak.de/planen-und-bauen/architektur-technik/building-information-modelling-bim/bim-und-normung.html> [Abruf am 15.02.2021].
- [5] **VDI-Richtlinie 2552** (2020), Building Information Modeling.
- [6] **Rustler, Walter** (2020): Digitale Trends in der Tragwerksplanung, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001648> [Abruf am 15.02.2021].
- [7] **Bialas, Frank et al.** (2019): „Quantitative Querschnittsstudie zur BIM-Anwendung in Planungsbüros“, in: Bautechnik 96, H. 3, 2019, S. 229-238
- [8] **Spengler, Arnim J. et al.** (2020): Die Methode Building Information Modeling. Schnelleinstieg für Architekten und Bauingenieure, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.
- [9] **Egger, Martin et al.** (2013): BIM Leitfaden für Deutschland. Information und Ratgeber, Forschungsprogramm ZukunftBau.
- [10] **Borrmann, André et al.** (2015): Building Information Modeling. Technologische

- Grundlagen und industrielle Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.
- [11] **Przybylo, Jakob** (2020): BIM – Einstieg kompakt. Die wichtigsten BIM-Prinzipien in Projekt und Unternehmen, 2. Aufl., Berlin: Beuth Verlag.
- [12] **Egger, Martin et al.** (2013): BIM Leitfaden für Deutschland. Information und Ratgeber, Forschungsprogramm ZukunftBau.
- [13] **Horner, Christine** (2018): BIM kompakt. Teilmodelle verstehen und nutzen, 1. Aufl., Wien: Austrian Standards plus GmbH.
- [14] **Stange, Matthias** (2020): Building Information Modeling im Planungs- und Bauprozess. Eine quantitative Analyse aus planungsökonomischer Perspektive, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.
- [15] **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 19.04.2021].
- [16] **Nikolay, Helmut** (2015): Einführung in die statische Berechnung von Bauwerken, Köln: Bundesanzeiger Verlag.
- [17] **Barth, Christian; Rustler, Walter** (2013): Finite Elemente in der Baustatik-Praxis. Mit vielen Anwendungsbeispielen, 2. überarbeitete und erweiterte Aufl., Berlin: Bauwerk Verlag.
- [18] **Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI** (2021): Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI), BGBl. I S. 2636.
- [19] **Grawe, Wigand; Wichers, Michael** (2018): „Zur Einführung der BIM-Methode in den Planungs- und Herstellungsprozess“, in: Stahlbau 87, H. 2, 2018, S. 95-101
- [20] **Mansperger, Tobias et al.** (2014): „BIM – Erfahrungen bei der Anwendung einer neuen Methode im Ingenieurbüro“, in: Bautechnik 91, H. 4, 2014, S. 237-242
- [21] **Stracke, Julia; Kepplin, Ragna.** (2020): „Der BIM-Prozess in der Tragwerksplanung“, in: Beton- und Stahlbetonbau 115, H. 4, 2020, S. 324-331
- [22] **Bartenbach, Jochen et al.** (2019): „Stahlbau unter Nutzung von BIM in einem heterogenen Softwareumfeld“, in: Stahlbau 88, H. 8, 2019, S. 786-795

- [23] **Bach, Andreas et al.** (2015): „Tragwerksplanung mit BIM im Hoch- und Brückenbau“, in: Ernst & Sohn Sonderheft BIM – Building Information Modeling, 2015, S. 92-97
- [24] **Momentum Magazin** (2020): Die Frage „big BIM oder little BIM“ hat wesentlich höhere Bedeutung als „open oder closed BIM“, <https://momentum-magazin.de/de/die-frage-big-bim-oder-little-bim-hat-wesentlich-hoehere-bedeutung-als-open-oder-closed-bim/> [Abruf am 08.09.2021].
- [25] **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 08.09.2021].
- [26] **SOFiSTiK AG**  
<https://www.SOFiSTiK.de/produkte/bim-cad> [Abruf am 08.09.2021].
- [27] **DBZ** (2018): Open vs. Closed BIM. Was lohnt sich für mich?, [https://www.dbz.de/artikel/dbz\\_pen\\_vs.\\_Closed\\_BIM.\\_Was\\_lohnt\\_sich\\_fuer\\_mich\\_\\_3191113.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_pen_vs._Closed_BIM._Was_lohnt_sich_fuer_mich__3191113.html) [Abruf am 08.09.2021].
- [28] **SCIA**  
<https://www.scia.net/de/software/scia-autoconverter> [Abruf am 08.09.2021].
- [29] **Rustler, Walter** (2017): Building Information Modeling und Statiksoftware: Szenarien und Erfolgsfaktoren beim Datenaustausch, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001432> [Abruf am 19.04.2021].
- [30] **Kepplin, Ragna et al.** (2017): „Building Information Modeling – Umsetzung in der Tragwerksplanung“, in: Bautechnik 94, H. 4, 2017, S. 220-226
- [31] **Bischoff, Manfred** (2015): „Computerstatik und Tragwerksmodellierung – Vorschläge und Impulse für eine moderne universitäre Baustatiklehre“, in: Der Prüflingenieur 46, Mai 2015, S. 40-47
- [32] **Rombach, Günter** (2015): „Die Prüfung der Standsicherheit am ganzheitlichen Gebäudemodell“, in: Der Prüflingenieur 33, Oktober 2008, S. 42-52
- [33] **Katz, Casimir; Niggel, Andreas** (2017): „Aspekte der Tragwerksplanung in einem BIM-Umfeld“, in: Baustatik – Baupraxis, 2017, Bochum, S. 441-448
- [34] **Fastabend, Michael et al.** (2009): „Zur sinnvollen Anwendung ganzheitlicher

- Gebäudemodelle in der Tragwerksplanung von Hochbauten“, in: Beton- und Stahlbeton 104, H. 10, 2019, S. 657-663
- [35] **Laggner, Thomas Markus et al.** (2021): „Statische Analyse mit linear elastischen 3D-Gebäudemodellen“, in: Beton- und Stahlbetonbau 116, H. 5, 2021, S. 360-369
- [36] **AUTODESK** (2020): Leitfaden für die BIM Modellierung in Revit, Version 1.0, <https://blogs.autodesk.com/bimblog/wp-content/uploads/sites/108/2020/09/Autodesk-Leitfaden-f%C3%BCr-die-BIM-Modellierung-in-Revit.pdf> [Abruf am 03.09.2021].
- [37] **Rombach, Günter** (2011): „Tragwerksplanung am Gesamtmodell – Realität – Modellprobleme – Prüfung“, in: Landesvereinigung der Prüfengeure Baden-Württemberg, Tagungsbericht 39. Arbeitstagung Baden-Baden, 1./2. Juli 2011
- [38] **Henke, Peter; Rapolder, Markus** (2011): „Statik am Gesamtmodell – Erfahrungen und Forderungen aus der bautechnischen Prüfung“, in: Baustatik – Baupraxis, 2011, Innsbruck, S. 139-146
- [39] **Rustler, Walter** (2020): Warum 3D-Modelle in der Tragwerksplanung?, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001680> [Abruf am 02.09.2021].
- [40] **Baldwin, Mark** (2019): Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement, 2. Aufl., Berlin: Beuth Verlag.
- [41] **Rustler, Walter** (2018): Schnittstellen und relevante Funktionen für BIM-orientiertes Arbeiten, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001509> [Abruf am 02.09.2021].
- [42] **Zilch, Konrad; Zehetmaier, Gerhard** (2010): Bemessung im konstruktiven Betonbau, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- [43] **Braun, Matthias** (2017): „Tragwerksplanung im Wandel: Chancen durch BIM für eine Branche mit Tradition“, in: Baustatik – Baupraxis, 2017, Bochum, S. 39-46
- [44] **Birkemo, Anders Savag et al.** (2019): „Statische Analyse mit linear elastischen 3D-Gebäudemodellen“, in: Building Information Modeling (BIM) in Design, Construction and Operations III, WIT Transactions on The Built Environment,



Vol 192, 2019, S. 317-327

- [45] **Eastman, Charles et al.** (2018): BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, Third edition, Hoboken, New Jersey: Wiley
- [46] **ITWissen.info**  
<https://www.itwissen.info/Native-native.html> [Abruf am 08.09.2021].
- [47] **AUTODESK**  
<https://knowledge.autodesk.com/de/support/autocad/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/DEU/AutoCAD-drawing-file-format.html> [Abruf am 03.09.2021]
- [48] **SCIA**  
<https://www.scia.net/en/system/files/documents/WP-InteroperabilityBIM-300408-EN.pdf> [Abruf am 08.09.2021].
- [49] **Rustler, Walter** (2019): Wege vom BIM-Modell zur Tragwerksplanung und zurück, <https://www.dlupal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledgebase/001630> [Abruf am 02.09.2021].
- [50] **Dlupal Software Online-Handbuch zu BIM-Schnittstellen**  
<https://www.dlupal.com/de/downloads-und-infos/dokumente/online-handbuecher/bim-interfaces/02/05> [Abruf am 02.09.2021].
- [51] **Albert, Andrej** (2018): Schneider. Bautabellen für Ingenieure, 23. Aufl., Köln: Bundesanzeiger.
- [52] **Tautschnig, Arnold et al.** (2018): „Building Information Modeling – Übersicht über Technologie und Arbeitsmethodik mit Praxisbeispielen“, in: Beton-Kalender 2018, S. 355-414, Berlin: Ernst & Sohn
- [53] **AUTODESK – Revit IFC Handbuch**  
<https://www.autodesk.de/campaigns/interoperability/ifc-handbuch> [Abruf am 03.09.2021]
- [54] **Allplan Nemetschek – Leitfaden IFC 2x3**  
[http://www.allplan.net/cms/fileadmin/media/pdf/IFC/IFC\\_Nemetschek\\_Leitfaden20.pdf](http://www.allplan.net/cms/fileadmin/media/pdf/IFC/IFC_Nemetschek_Leitfaden20.pdf) [Abruf am 03.09.2021]
- [55] **Baunetz Wissen**  
<https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/standardisierung/ifc-der-offene->

- standard-fuer-bim-modelle-5288161 [Abruf am 03.09.2021]
- [56] **upFront.eZine News Archives**  
<https://www.upfrontezine.com/2020/06/upf-1058.html> [Abruf am 03.09.2021]
- [57] **Claus, Steffen** (2017): BIM-Workflow: Datenaustausch mittels IFC-Dateien,  
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001472> [Abruf am 02.09.2021].
- [58] **buildingSMART**  
<https://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/certified-software/> [Abruf am 08.09.2021].
- [59] **buildingSMART**  
<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/> [Abruf am 08.09.2021].
- [60] **MUCKIngenieure**  
<https://www.muck-ingenieure.de/wp-content/uploads/2019/06/01-2017-DETAIL-BIM.pdf> [Abruf am 08.09.2021].
- [61] **Bauprofessor**  
<https://www.bauprofessor.de/bim-issue-management> [Abruf am 08.09.2021].
- [62] **Rhino**  
<https://www.rhino3d.com/de/> [Abruf am 08.09.2021].
- [63] **Jansson, Nicodemus** (2017): BIM im Hochbau und Industriebau aus Sicht des Tragwerkplaners, <https://docplayer.org/50358586-Bim-im-hochbau-und-industriebau-aus-sicht-des-tragwerkplaners-dipl-ing-nicodemus-jansson-wtm-engineers-gmbh.html> [Abruf am 02.09.2021].
- [64] **Sühnel, Lukas** (2017): FAQ 002693 DE, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/002693> [Abruf am 02.09.2021].
- [65] **Behaneck, Marian** (2020): Das wichtigste BIM-Datenaustauschformat IFC, <https://www.db-bauzeitung.de/wissen/technik/das-wichtigste-bim-datenaustauschformat-eigenschaften-begrenzungen-im-und-export/> [Abruf am 02.09.2021].
- [66] **SAF Documentation**  
<https://www.saf.guide/> [Abruf am 09.09.2021]

- 
- [67] **Grasshopper**  
<https://www.rhino3d.com/de/6/new/grasshopper/> [Abruf am 08.09.2021].
- [68] **Sühnel, Lukas** (2021): Interoperabilität von Dlubal mit Rhino & Grasshopper, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001671> [Abruf am 02.09.2021].
- [69] **Dlubal Software**  
<https://www.dlubal.com/de/loesungen/anwendungsbereiche/building-information-modeling-bim> [Abruf am 02.09.2021].
- [70] **Graphisoft**  
<https://graphisoft.com/de> [Abruf am 02.09.2021].
- [71] **Allplan**  
<https://www.allplan.com/> [Abruf am 02.09.2021].
- [72] **Bimplus**  
<https://www.bimplus.net/de> [Abruf am 02.09.2021].
- [73] **SCIA AutoConverter**  
<https://www.scia.net/de/software/scia-autoconverter/key-features> [Abruf am 02.09.2021].
- [74] **SCIA Engineer**  
<https://www.scia.net/de/software/scia-engineer> [Abruf am 02.09.2021].
- [75] **Niemeier, Andreas** (2017): CAD/BIM-Modell, <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001328> [Abruf am 02.09.2021].
- [76] **Zilch, Konrad; Beckmann, Klaus J. et al.** (2013): Bauwirtschaft und Baubetrieb, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg Verlag.
- [77] **Messmer, Beatrice; Austen, Gerrit.** (2020): BIM – Ein Praxisleitfaden für Geodäten und Ingenieure Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.
- [78] **Allplan**  
<https://info.allplan.com/de/webinare/bim-step-by-step.html>  
[Abruf am 03.09.2021].
- [79] **Graphisoft** (2021): BIM-Modellierungsrichtlinien für Archicad, <https://open-bim.graphisoft.de/open-bim-funktioniert/#modellierungsrichtlinie> [Abruf am 03.09.2021].

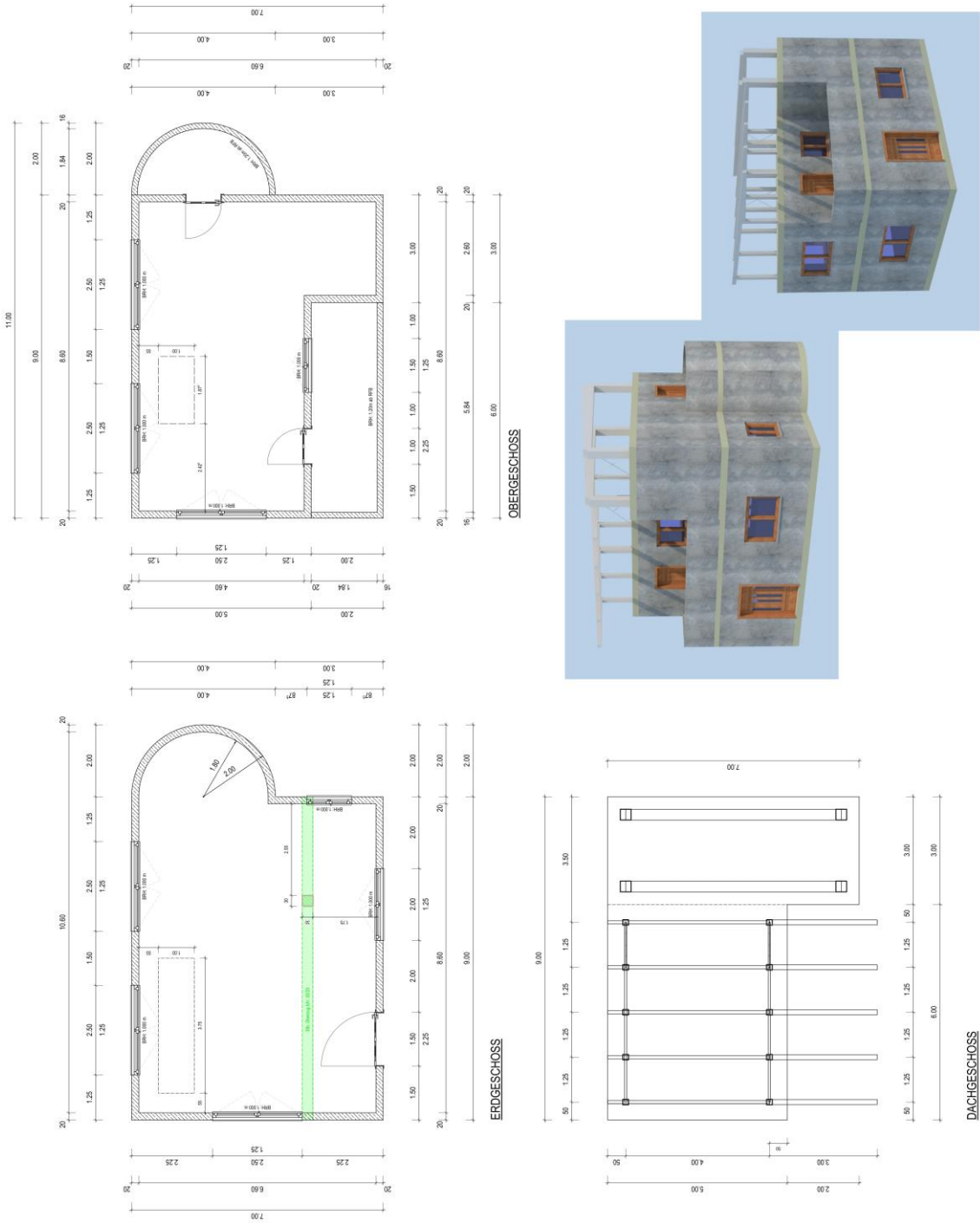
- 
- [80] **martens+puller – Ingenieurgesellschaft mbh**: BIM: Tipps aus der Praxis, <https://www.martens-puller.de/2021/06/bim-tipps-aus-der-praxis/> [Abruf am 02.09.2021].
- [81] **Baumgärtel, Lukas et al.** (2020): „BIM-basierte Kollaboration“, in: Bautechnik 97, H. 12, 2020, S. 817-825
- [82] **Fröch, Georg et al.** (2020): BIM Best Practice. Projekt Kindergarten Schwoich (Tirol). Beitrag aus der Praxis, 1. Aufl., Innsbruck: STUDIA Buchhandlung und Verlag.
- [83] **Goris, Alfons.** (2014): Stahlbetonbau aktuell 2014. Praxishandbuch, Berlin: Beuth Verlag.
- [84] **Daniel Dlubal**  
selbst erstellte Unterlagen
- [85] **b-Cert**  
<https://www.b-cert.org/Documentation/b85b96fe-24e8-4d34-35d2-08d4a1de0df5> [Abruf am 02.09.2021].

## Bildquellen

- [86] <https://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/>
- [87] [https://bim.awd-ingenieure.info/fileadmin/\\_processed\\_/a/8/csm\\_lp3\\_ac4bd6e945.png](https://bim.awd-ingenieure.info/fileadmin/_processed_/a/8/csm_lp3_ac4bd6e945.png)
- [88] [https://www.bft-international.com/imgs/103981719\\_6b05591ba3.jpg](https://www.bft-international.com/imgs/103981719_6b05591ba3.jpg)
- [89] <https://www.dlubal.com/de/img/008648>
- [90] <https://www.buildingincloud.net/wp-content/uploads/2017/03/bim-software.png>  
[Abruf am 08.09.2021].
- [91] <https://www.dds-cad.de/ifc/>
- [92] <http://www.bim-times.com/ifc/ifc2x3/ifcstructuralanalysisdomain/lexical/ifcstructuralcurvemember.htm>
- [93] [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Microsoft\\_Excel\\_Logo.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Microsoft_Excel_Logo.svg)
- [94] [https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/dxf-dateiformatsymbol\\_29588](https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/dxf-dateiformatsymbol_29588)
- [95] <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/referenzen/kundenprojekte/001117>
- [96] <https://www.dlubal.com/de/img/008988>

# Anhang A

## Einfamilienhaus: Grundriss und Visualisierung mit Allplan







**Export:** Unterstützte Schnittstellen und Austauschformate von Statikprogrammen  
(Stand: September 2021)

Hersteller Programme	DXF	SAF	IFC 2x3		IFC 4		Link zu Tekla	Link zu Revit
			CV	SAV	RV	SAV		
Dlubal Software RFEM & RSTAB	x		x	x	x	x	x	x
SOFiSTiK	x		x	x	x	x		x
SCIA SCIA Engineer	x	x	x	x	x	x	x	x
InfoGraph	x		x	x	x	x	x	x
FRILO BIM Connector	x							
mbAEC	x		x	x	x	x		
D.I.E. Faltwerk & Platte	x							
RISA RISA-3D	x	x					x	x
CSI America ETABS & SAP2000	x		x	x	x	x	x	x
Strusoft FEM-Design	x						x	x

## Anhang C

### Checkliste für die Durchführung eines Datenaustausches zum Ausdrucken

1. Vor dem Import	Erledigt
Viewer verwenden und auf Plausibilität überprüfen	<input type="checkbox"/>
Nur tragwerksrelevante Daten für den Austausch auswählen	<input type="checkbox"/>
Vergewissern, welche Schnittstellen und Formate die Software unterstützt	<input type="checkbox"/>
<b>2. Querschnitts- und Materialmapping</b>	
Mappingtabellen ausfüllen und ggf. ergänzen	<input type="checkbox"/>
Mappingtabellen aktuell halten	<input type="checkbox"/>
<b>3. Strukturgeometrie</b>	
Zeigt die Struktur in die richtige Richtung?	<input type="checkbox"/>
Modellkontrolle mithilfe der Softwarewerkzeuge durchführen	<input type="checkbox"/>
Unnötige Linien und Knoten entfernen – Doppelte Knoten und Linien	<input type="checkbox"/>
Konsistente Verbindungen? Sind die Bauteile in gemeinsamen Knoten verbunden?	<input type="checkbox"/>
Geometrische Abmessungen überprüfen	<input type="checkbox"/>
Knoten, Linien, Polylinien, Splines, Nurbs, Flächen, Gekrümmte Flächen, ... auf Vollständigkeit überprüfen	<input type="checkbox"/>
<b>4. Strukturdaten</b>	
Sind Stäbe, Stützen, Träger, Platten, Scheiben, Decken, Wände richtig modelliert?	<input type="checkbox"/>
Stimmen Material- und Querschnittsdaten? Hat das Mapping funktioniert? Sind diese auch richtig zugeordnet?	<input type="checkbox"/>
Wurden Öffnungen korrekt übergeben?	<input type="checkbox"/>
Müssen Gelenke (Stabendgelenke, Liniengelenke), Auflager (Knoten-, Linien- und Flächenlager), Exzentrizitäten (Stabexzentrizitäten) hinzugefügt werden?	<input type="checkbox"/>

---

Kritische Details hinsichtlich der Modellierungsqualität beurteilen (Deckenversatz, Wandversatz, Vouten, ...)	<input type="checkbox"/>
<b>5. Lastdaten</b>	
Sind Lastfälle und Lastkombinationen richtig definiert?	<input type="checkbox"/>
Wurden die Belastungen (Einzellast, Linien- bzw. Stablast, Flächenlast, ...) korrekt übergeben?	<input type="checkbox"/>
<b>6. Berechnung</b>	
Kann das FE-Netz generiert werden? Ist die Qualität gut genug für eine zuverlässige Bewertung der Ergebnisse? (Singularitäten)	<input type="checkbox"/>
Entspricht die Verformung dem realen Tragverhalten unter dem Lastfall Eigengewicht	<input type="checkbox"/>

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master-Thesis selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich versichere außerdem, dass die vorliegende Arbeit noch nicht einem anderen Prüfungsverfahren zugrunde gelegen hat.

München, 15. September 2021

---

Vorname Nachname

Daniel Dlubal