

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

## Vergleich von offenen und geschlossenen Schnittstellen in der BIM-basierten Tragwerksplanung

---

**Jonas Mösch**

Bachelor's Thesis

im Studiengang Bauingenieurwesen  
zur Erlangung des akademischen Grads eines  
Bachelor of Science (B.Sc.)

Autor: Jonas Mösch  
Matrikelnummer: XXXXXXXXXX  
1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann  
2. Betreuer: Cornelius Preidel  
  
Ausgabedatum: 11.1.2016  
Abgabedatum:

## **Abstract**

Building Information Modeling constitutes a modern method of application that infers the use of digital building models during the entire period of operation. These models need to be analyzed by various members of a working group using different calculation and analysis tools. Many of these programs are based on automated processes, and the exchange of data between applications works inadequately or not at all (Borrmann et al. 2015). This thesis seeks to make a contribution by studying some of those open and closed interfaces /ports that are responsible for the lack of data exchange.

Specifically, this bachelor thesis addresses the interoperability of Revit and RFEM and is structured in a theoretical and a practical part. The theory discusses and briefly explains the concept of Building Information Modeling. Then, the separate application areas are described before taking a closer look at BIM in the structural engineering context. This is followed by a presentation of the technological foundations of BIM. The focus is on 3-D modeling and its most important concepts in this context. This first part ends by explaining the need for interoperability between different BIM tools, and an introduction of the data format Industry Foundation Classes.

The practical part focusses on studying the data exchange between RFEM and Revit, and therefore also starts off with outlining both programs. Subsequently, a solid concrete structure is modeled in Revit and a steel structure is modeled in RFEM. The concrete structure is then imported in RFEM using the native and the IFC exchange interface. The main point of concentration was to investigate which one provides the better import or export results. As a result, the steel structure was imported into Revit through the native exchange interface to show that complete components can be exchanged between the two programs.

It has been found that the native exchange interface works smoothly. For a geometrical model from Revit an appropriate analytical model is obtained in RFEM, and it is possible to proceed to work immediately with the imported model. On the other hand, importing an IFC file into RFEM gives an unsatisfactory result. The imported model cannot be used without further modifications.

The conclusion summarizes the problems and challenges that have occurred during this analysis, and closes with a presentation of the results.

## **Zusammenfassung**

Building Information Modeling ist eine moderne Arbeitsmethode, die die Verwendung digitaler Bauwerksmodelle während der gesamten Betriebsdauer voraussetzt. Die Modelle müssen von einer Vielzahl an Projektbeteiligten mit unterschiedlichen Berechnungs- und Analysewerkzeugen bearbeitet werden. Viele dieser Programme sind bis heute Automatisierungsinselfn und der Datenaustausch zwischen den Anwendungen funktioniert nicht oder nur unzureichend (Borrmann et al. 2015). Aus diesem Grund sollen in der vorliegenden Arbeit die offenen und geschlossenen Schnittstellen in der BIM-basierten Tragwerksplanung untersucht werden.

Im theoretischen Teil wird der Begriff Building Information Modeling definiert. Anschließend sollen die Anwendungsbereiche voneinander abgegrenzt werden. Es wird genauer auf BIM in der Tragwerksplanung eingegangen, bevor die wichtigsten technologischen Grundlagen vorgestellt werden. Dabei stehen die 3D-Modellierung und ihre grundlegenden Konzepte im Vordergrund. Zum Schluss wird die Notwendigkeit der Interoperabilität verschiedener BIM-Werkzeuge erläutert und das Datenformat Industry Foundation Classes (IFC) vorgestellt.

Im praktischen Teil soll der Datenaustausch zwischen RFEM und Revit untersucht werden. Als Erstes werden die beiden Programme vorgestellt. Anschließend wird ein Massivbautragwerk in Revit modelliert und ein Stahltragwerk in RFEM. Der Massivbau wird mithilfe der nativen und der IFC-Schnittstelle in RFEM importiert. Es soll untersucht werden, welche der beiden Schnittstellen das bessere Import- beziehungsweise Exportergebnis liefert. Das Stahltragwerk soll in Revit über die native Schnittstelle importiert werden, um zu zeigen, dass komplette Bauteile zwischen den beiden Programmen ausgetauscht werden können.

Es hat sich herausgestellt, dass die native Schnittstelle reibungslos funktioniert. Für ein in Revit modelliertes geometrisches Modell erhält man ein entsprechendes analytisches Modell in RFEM, an dem sofort weitergearbeitet werden kann. Exportiert man ein Modell aus Revit als IFC-Datei und importiert es anschließend in RFEM, erhält man ein unbefriedigendes Ergebnis. Das importierte Modell ist ohne weitere Modifizierungen nicht brauchbar.

Eine kurze Beschreibung der Probleme und Herausforderungen, die während der Untersuchungen aufgetreten sind, bildet zusammen mit einem abschließenden Fazit den letzten Teil der Arbeit.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	2
Zusammenfassung .....	3
1 Einführung .....	5
1.1 Motivation .....	5
1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit .....	5
2 BIM – Building Information Modeling .....	6
2.1 Begriffsdefinition BIM .....	6
2.2 Vorteile von BIM .....	7
2.3 Herausforderungen .....	9
3 Tragwerksplanung .....	10
3.1 Leistungsphasen der Tragwerksplanung .....	10
3.2 BIM in der Tragwerksplanung .....	11
4 Technologische Grundlagen .....	14
4.1 3D-Modellierung .....	14
4.2 Parametrische Modellierung .....	16
4.3 Objektorientierte Modellierung (OOM) .....	17
4.4 Finite Elemente Methode .....	18
5 Datenaustausch und Kollaboration .....	20
6 Szenario .....	25
6.1 Revit .....	25
6.2 RFEM .....	26
6.3 Vorbereitungen .....	26
6.4 Modellieren in Revit – Pandion Gardens .....	27
6.5 Modellieren in RFEM - Stahltragwerk .....	30
6.6 Native RFEM-Revit Schnittstelle .....	32
6.7 IFC Schnittstelle .....	37
7 Zusammenfassung und Fazit .....	42
Anhang .....	45

# 1 Einführung

## 1.1 Motivation

Es ist kein Zufall, dass ein Bauingenieur den Computer erfunden hat. Schließlich waren statische Berechnungen schon zu Zeiten Konrad Zuses‘ langwierig und aufwendig (Stiftung Deutsches Historisches Museum 2016). Während zu Beginn vorwiegend konstruktive Berechnungen mit dem Computer vorgenommen wurden, konnte mit dem Aufkommen der ersten Computer-Aided-Design-Programme (CAD) die computergestützte Planerstellung ermöglicht werden. Mittlerweile bieten spezialisierte Computerprogramme eine Vielzahl von Vorteilen, die den Alltag von Bauingenieuren erleichtern. Building Information Modeling ist die nächste technologische Entwicklung, die der Computer ermöglicht (Eastman 2011). Dabei steht BIM für einen Prozess, bei welchem ein digitales 3D-Modell erstellt wird, um verlässliche Entscheidungen zu treffen und diese optimal zu kommunizieren.

Während der BIM-gestützten Planung müssen Daten der verschiedenen Fachplaner ausgetauscht und koordiniert werden. Damit bei diesem Vorgang keine Daten verloren gehen, müssen die BIM-Programme interoperabel sein. Mit den Industry Foundation Classes gibt es ein offenes und neutrales Datenformat, das den Informationsaustausch über verschiedene Programme hinweg ermöglichen soll und von einer gemeinnützigen Organisation entwickelt wird. Im Gegensatz dazu stehen native Schnittstellen, die von Software-Herstellern entworfen werden. Diese Schnittstellen ermöglichen zwar den Datenaustausch, sind aber weder transparent noch offen (Borrmann et al. 2015). Aus diesem Grund sollen die beiden Möglichkeiten des Datentransfers genauer untersucht werden.

## 1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit

Im theoretischen Teil wird der Begriff Building Information Modeling definiert und näher erklärt. Anschließend werden die Einsatzmöglichkeiten für BIM in der Tragwerksplanung erörtert. Im darauffolgenden Kapitel werden die Prozessabläufe vorgestellt, die BIM ermöglichen. Der letzte Teil widmet sich der Interoperabilität unterschiedlicher BIM-Programme.

Im praktischen Teil soll die native und die offene Schnittstelle zwischen RFEM und Revit genauer betrachtet werden. Das Ziel der Arbeit ist es, den Datenaustausch zwischen RFEM und Revit zu analysieren. Dazu werden zwei Modelle erstellt.

Das erste Modell wird in Revit modelliert und über die native Schnittstelle in RFEM importiert. Anschließend wird das gleiche Modell mit Hilfe des IFC-Datenformats übertragen. Es wird untersucht, welche der beiden Schnittstellen das bessere Transferergebnis liefert.

Das zweite Modell wird in RFEM erstellt und über die native Schnittstelle in Revit importiert. Es soll gezeigt werden, dass ganze Bauteile zwischen Revit und RFEM ausgetauscht werden können.

## 2 BIM – Building Information Modeling

### 2.1 Begriffsdefinition BIM

Building Information Modeling (BIM) ist eine moderne Arbeitsmethode. Das Konzept geht zurück auf Charles M. Eastman, der 1975 in seiner wissenschaftlichen Arbeit „The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design“ die Vorteile digitaler Gebäudemodelle beschreibt. Die Bezeichnung Building Information Modeling wurde zum ersten Mal von G.A. van Nederveen in seiner Arbeit „Modelling Multiple Views on Buildings“ verwendet (Egger et al. 2013).

Building Information Modeling ist ein Prozess, bei dem ein detailliertes, virtuelles und dreidimensionales Modell eines Bauwerks erstellt und während der gesamten Dauer des Gebäudebetriebs verwendet wird. Dieses besteht nicht nur aus einer geometrischen Abbildung, sondern wird außerdem durch wichtige Zusatzinformationen erweitert. Solche Modelle bündeln alle wichtigen Daten und stellen diese allen am Projekt Beteiligten über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks zur Verfügung. BIM steht damit für die Erzeugung, Modifizierung und Verwaltung eines digitalen Modells mithilfe moderner Computerprogramme (Borrmann et al. 2015).

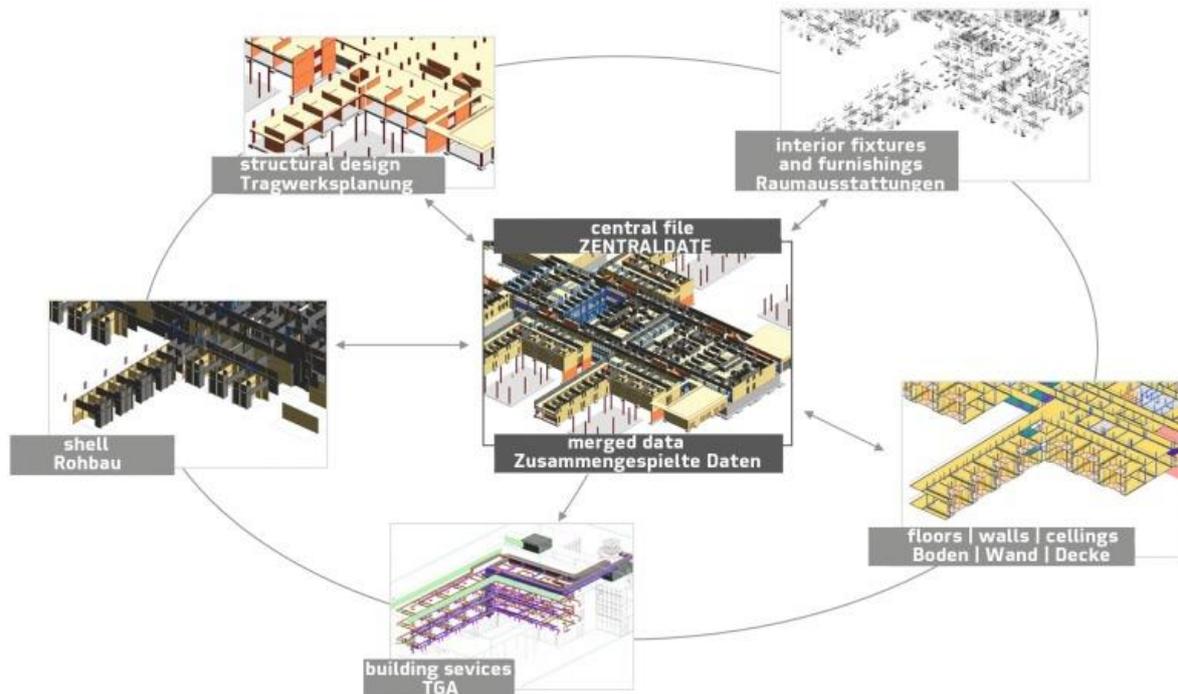


Abbildung 1: Modellstruktur (OBERMEYER Planen + Beraten GmbH 2014)

Im Zentrum der BIM-Methode steht ein virtuelles Bauwerksmodell, das die Sammel- und Verwaltungsstelle für alle wichtigen Projektinformationen bildet. Es besteht aus digitalen Bauteilen und Modellelementen. Damit ein Gebäudemodell genügend Aussagekraft besitzt, müssen neben geometrischen auch semantische Informationen berücksichtigt werden. Semantik steht in der Informatik für die Bedeutung von Informationen. Eine Folge von

zufälligen und natürlichen Zahlen besitzt einen hohen Informationsgehalt, aber keine Semantik. Würden BIM-Modelle nur geometrische Daten zur Verfügung stellen, würden wichtige semantische Informationen zur umfassenden Beschreibung eines Bauwerks fehlen. Daher geben BIM-Modelle beispielsweise Aufschluss über die verwendeten Materialien, über die Herstellungsabläufe und -verfahren, über die Betriebsperiode und die Nutzeigenschaften einzelner Räume (Borrmann et al. 2015). Moderne BIM-Software unterstützt die Informationsverteilung, das gleichzeitige Arbeiten mehrerer Personen am selben Modell und die objektorientierte Modellierung. Häufig müssen fachspezifische Modelle erstellt oder abgeleitet werden. Mit ihnen werden bestimmte Fragestellungen untersucht. Während ein geometrisches Modell für einen Architekten essentiell ist, benötigt der Tragwerksplaner ein analytisches Modell. Die Modelle unterscheiden sich in der Art der Informationen, die sie bereitstellen. Deshalb gibt es im besten Fall offene und neutrale Schnittstellen über die BIM-Werkzeuge miteinander kommunizieren. Es müssen Teilmodelle in bereits bestehende Modelle eingefügt werden und es muss möglich sein, aus mehreren Teilmodellen ein Gesamtmodell zu erstellen (Egger et al. 2013).

## 2.2 Vorteile von BIM

Mithilfe von BIM kann eine höhere Planungs-, Kosten- und Terminalsicherheit erreicht werden, da von Beginn an der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet wird. Den größten Vorteil erhält der Bauherr durch die leicht zugänglichen, zahlreichen und von allen Beteiligten nutzbaren Projektinformationen. Durch hochwertige und konsistente Planungsdaten wird eine frühe Entscheidungsfindung erleichtert, da alle Planungszeichnungen aus einem Modell entnommen werden. Mit entsprechenden Werkzeugen kann das Modell umfassend geprüft werden. Es ist möglich, die Untersuchung der Energieeffizienz, die Bauablaufplanung oder die Mängelverfolgung eindeutig nachzuvollziehen. Außerdem können viele Prozesse durch Automatisierung unterstützt werden (Egger et al. 2013).

In der Planung lassen sich Fehlerquellen sehr früh vermeiden, indem zum Beispiel alle benötigten Schnitte und Grundrisse widerspruchsfrei aus einem Modell entnommen werden. Außerdem können potenzielle Konflikte zwischen Gewerken in Teilmodellen rechtzeitig erkannt werden. Die Gebäudegeometrie und andere wichtige Informationen können direkt aus dem BIM entnommen und in verschiedene Berechnungs- und Simulationsprogramme eingefügt werden. So ist es beispielsweise möglich, statische Nachweise zu führen, Wärmebedarfsberechnungen vorzunehmen und Beleuchtungsanalysen schon zu Beginn der Projektabwicklung durchzuführen (Borrmann et al. 2015).

Noch vor der Bauausführung erleichtert ein detailliertes BIM die Aufwandsermittlung und somit die Angebotsabgabe. Erweitert man ein 3D-Modell um die 4. Dimension Zeit erhält man ein 4D-BIM. Alle Bauteilobjekte werden mit ihren Fertigstellungsterminen kombiniert, um den Bauablauf auf Unstimmigkeiten zu untersuchen. Somit wird eine optimale Baulogistik gewährleistet (Borrmann et al. 2015).

Während des gesamten Gebäudebetriebs muss ein vorteilhaftes BIM ständig aktualisiert werden. Allgemeine Informationen über Raumgrößen und Raumfunktionen werden im Vergleich zu den herkömmlichen Formaten von einem digitalen Modell praktischer dargestellt. Ein BIM ist einfacher zu verändern als gewöhnliche technische Zeichnungen.

Dabei können genaue Angaben zur Versorgungstechnik wie Lage, Wartungszeiträume und Anschlüsse dargestellt werden. Am Ende des Lebenszyklus kann der Rückbau umweltfreundlich und effizient gestaltet werden, da genaue Informationen über die verschiedenen Materialien vorliegen (Borrmann et al. 2015).

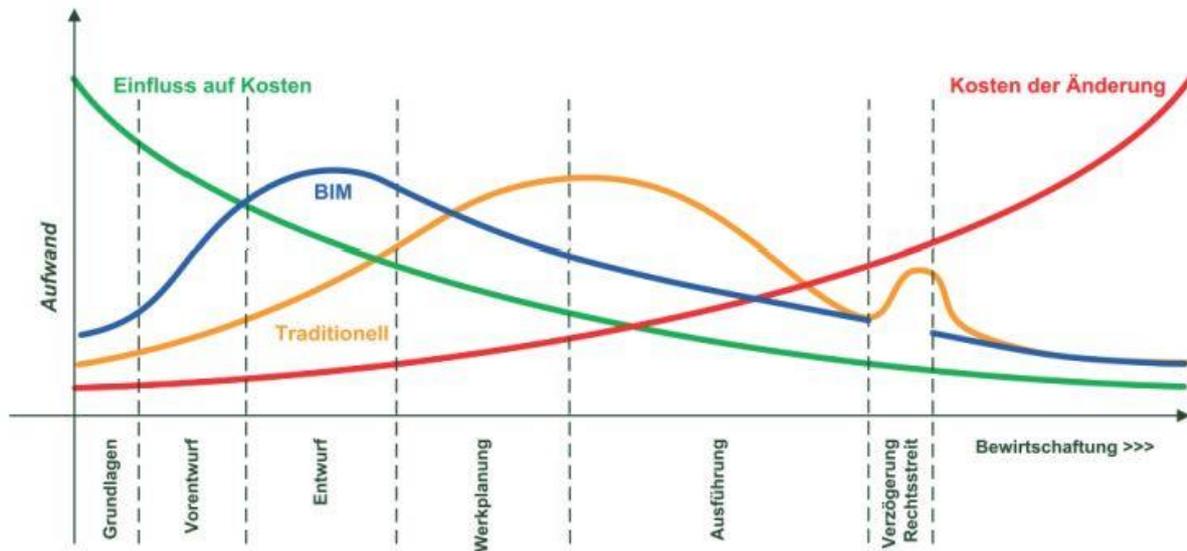


Abbildung 2: Aufwandsverlagerung (Liebich et al. 2011)

Aufgrund der dreidimensionalen Ausgestaltung müssen bei der Verwendung von 3D-Modellen mehr Informationen dargestellt und verwaltet werden. Daraus ergibt sich eine Aufwandsvorverlagerung von Planungsaufwendungen. Es müssen für den anfänglichen Modellierungsprozess mehr Ressourcen eingesetzt werden. Dadurch wird es möglich, bereits zu Beginn der Planung fundierte Entscheidungen zu treffen. Dies wiederum führt zu geringeren Aufwendungen in späteren Planungsphasen. Durch die Kombination von geometrischen und semantischen Informationen wird mit BIM eine höhere Aussagekraft als mit traditionellen Planungsmethoden erreicht. Fehler können früher erkannt und umgangen werden. So ist es zum Beispiel möglich, geometrische Durchdringungen verschiedener Bauteile zu identifizieren. Mit Hilfe dieser sogenannten „Clash Detection“ (dt. Kollisionsuntersuchung) können Konflikte zwischen Leitungen verschiedener Gewerke vermieden werden. Die höhere Aussagekraft eines 3D-Modells ermöglicht präzisere Erkenntnisse bezüglich Kosten, Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz. Kostenträchtige Planungs- und Ausführungsänderungen werden vermieden. Nachfolgende Gewerke profitieren dadurch von einer höheren Planungsqualität (Egger et al. 2013).

Aufgrund der Globalisierung ist der Konkurrenzkampf im Bauwesen härter geworden und Unternehmen suchen nach effizienteren Arbeitsmethoden. BIM bietet die Möglichkeit, Ablaufprozesse langfristig zu optimieren. Firmen, die sich entsprechende Kompetenzen erarbeiten, sind in der Lage, Bauherren optimierte Leistungen anzubieten. Im Ausland hat sich BIM zur Standardmethode der Projektabwicklung entwickelt. International agierende Unternehmen sind daher gezwungen, sich mit BIM auseinanderzusetzen, wenn sie konkurrenzfähig bleiben wollen (Egger et al. 2013).

### 2.3 Herausforderungen

BIM stellt eine neuartige Arbeitsmethode dar, die einige Herausforderungen mit sich bringt. Damit sich die Methode im Bauwesen durchsetzt, müssen die vier Randbedingungen Menschen, Prozesse, Technologien und Richtlinien aufeinander abgestimmt werden. Für beteiligte Personen bedeutet dies, dass sie über neues Fachwissen verfügen müssen. Außerdem sollten sie neuer Technik gegenüber aufgeschlossen sein. Arbeitsprozesse müssen der zentralen Informationsverwaltung angepasst werden, was bedeutet, dass die Kommunikation und Zusammenarbeit geändert werden muss. Im Rahmen des Informationsmanagements sollen konkrete Vorgaben die Qualität eingegebener Informationen sicherstellen. Um eine reibungslose Zusammenarbeit zu erreichen, müssen gemeinsame Ziele und Regeln definiert werden. Es ist zu klären, wem die zentralen Daten gehören und wer für die Richtigkeit der Modelle vor deren Weitergabe haftet (Egger et al. 2013).

Bis heute gibt es keine allgemein gültige BIM-Richtlinie in Deutschland. Die öffentliche Hand hat noch keine nennenswerten Erfahrungen mit der BIM-Methode gemacht, erkennt aber das gleiche wirtschaftliche Erfolgspotenzial wie die öffentlichen Auftraggeber anderer europäischer Länder. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur möchte BIM bis 2020 stufenweise einführen. Digitales Planen und Bauen soll bundesweit zum Standard werden. Dabei soll die öffentliche Hand - als großer Bauherr - den Kulturwandel antreiben. Bis 2020 sollen die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen geschaffen und Standards festgelegt werden (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015). Um deutschen Firmen die Möglichkeit zu geben, international wettbewerbsfähig zu bleiben, bedarf es nationaler Vorgaben. Fehlende Standards und Weiterbildungsmöglichkeiten führen zu schweren Fehlern und Fehleinschätzungen schon zu Beginn eines Projekts. Speziell kleinere Unternehmen würden von einer BIM-Richtlinie profitieren, da sie dann nicht mehr selbst nach Wegen der BIM Umsetzung suchen müssten (Egger et al. 2013).

## 3 Tragwerksplanung

In diesem Kapitel sollen Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der BIM-Methode im Bereich der Tragwerksplanung aufgezeigt werden. Zunächst sollen hier die zu erbringenden Grundleistungen in der Tragwerksplanung beschrieben werden. Anschließend soll die BIM-Planung von der klassischen 2D-Planung abgegrenzt werden. Zum Schluss werden Anwendungsbeispiele in den verschiedenen Leistungsphasen beschrieben.

### 3.1 Leistungsphasen der Tragwerksplanung

Leistungen der Tragwerksplanung sind die statische Fachplanung für Gebäude, Ingenieurbauwerke und andere bauliche Anlagen. Das Tragwerk bezeichnet das statische Gesamtsystem der miteinander verbundenen lastabtragenden Konstruktionen, die für die Standsicherheit von Gebäuden, Ingenieurbauwerken und Traggerüsten bei Ingenieurbauwerken maßgeblich sind (HOAI 2013).

Die sechs Grundleistungen der Tragwerksplanung sind:

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

Während der Grundlagenermittlung wird die Aufgabenstellung auf dem Fachgebiet der Tragwerksplanung zusammen mit dem Objektplaner definiert.

In der Vorplanung wird das statisch-konstruktive Konzept des Tragwerks erarbeitet. Unter anderem muss hierzu ein Planungskonzept erstellt werden, das verschiedene Lösungsmöglichkeiten unter gleichen Objektbedingungen für das Tragwerk untersucht. Wesentliche konstruktive Festlegungen wie Baustoffe, Bauarten und Herstellungsverfahren, Konstruktionsraster und Gründungsart müssen skizzenhaft dargestellt werden.

Im Rahmen der Entwurfsplanung muss die Tragwerkslösung bis zum konstruktiven Entwurf mit zeichnerischer Darstellung erarbeitet werden. Des Weiteren erfolgt eine überschlägige statische Berechnung und Bemessung des Tragwerks.

Darauf folgt die Genehmigungsplanung. Die prüffähigen statischen Berechnungen müssen unter Berücksichtigung der vorgegebenen bauphysikalischen Anforderungen aufgestellt werden. Entweder müssen die Positionspläne angefertigt werden oder die statischen Positionen, die Tragwerksabmessungen, die Verkehrslasten, die Art und Güte der Baustoffe und die Besonderheiten der Konstruktionen in die Entwurfszeichnungen des Objektplaners eingetragen werden. Die Unterlagen der Tragwerksplanung müssen für die bauaufsichtliche Genehmigung zusammengestellt werden.

Auf die Genehmigungsplanung folgt die Ausführungsplanung. Schalpläne müssen in Ergänzung zu den fertiggestellten Ausführungsplänen des Objektplaners angefertigt und eine zeichnerische Darstellung der Konstruktionen inklusive Einbau- und Anweisungen zum Verlegen erstellt werden. Darüber hinaus müssen detaillierte Stahl- oder Stücklisten als Ergänzung zur zeichnerischen Darstellung der Konstruktionen mit Stahlmengenermittlung aufgestellt werden.

Während der Vorbereitung der Vergabe müssen die Betonstahlmengen im Stahlbetonbau, die Stahlmengen im Stahlbau und die Holzmengen im Ingenieurholzbau als Beitrag zur Mengenermittlung des Objektplaners ermittelt werden. Die Menge an konstruktiven Stahlteilen und statisch erforderlichen Verbindungs- und Befestigungsmitteln im Ingenieurholzbau muss errechnet werden. Die Leistungsbeschreibung muss als Grundlage für das Leistungsverzeichnis des Tragwerks aufgestellt werden ( HOAI 2013).

### **3.2 BIM in der Tragwerksplanung**

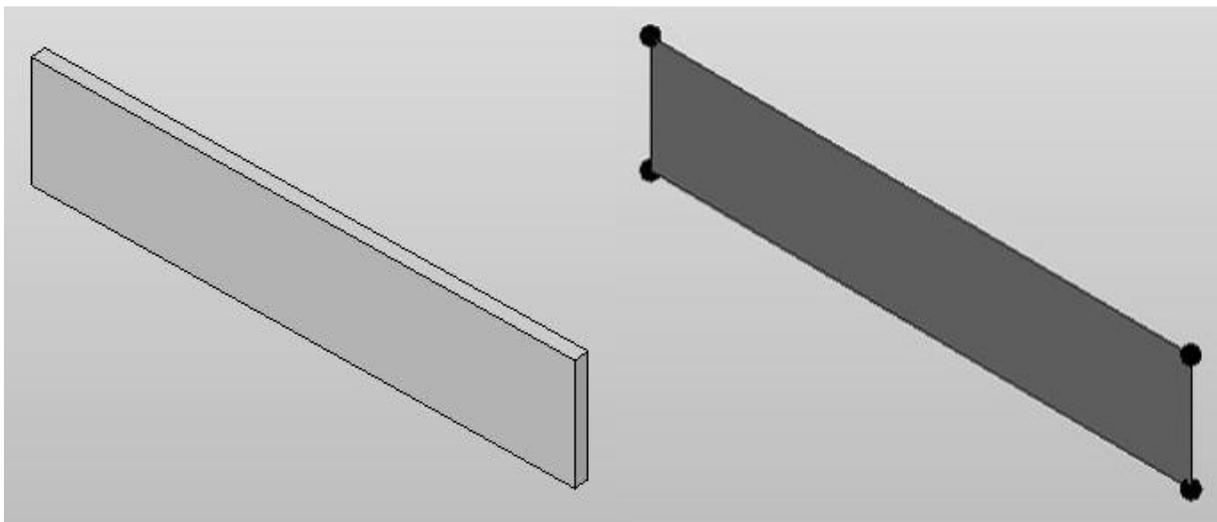
Wie dem vorgehenden Abschnitt zu entnehmen ist, werden in der Tragwerksplanung unterschiedliche Dokumente verlangt.

In der traditionellen 2D-Planung wurde lange Zeit mit Tusche und Papier gearbeitet. Erst ab den 80er Jahren wurden für die Erstellung von Planzeichnungen CAD-Programme verwendet. Diese Pläne können mit Druckern oder Plottern vervielfältigt werden. Die Zeichnungen der Bauteile werden zweidimensional auf einer Ebene im CAD-Programm angefertigt und ergeben zusammen die Planung des Bauwerks. Das Gebäude wird mit Grundrissen, Schnitten, Ansichten und Detailzeichnungen abgebildet. Jeder Plan wird einzeln erstellt. Eine dreidimensionale Betrachtung des Bauobjekts ist nicht möglich. Die Planzeichnungen können relativ schnell ausgearbeitet werden. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die zeichnungsorientierte Projektplanung bei Änderungen fehleranfällig und mühevoll ist. Bei notwendigen Modifikationen können die Pläne nur schwer aktualisiert werden, da sie separat angepasst werden müssen. Auswertungen wie die Mengenermittlung müssen manuell oder mit entsprechenden Werkzeugen in den CAD-Programmen erstellt werden. Eine automatisierte Anpassung dieser Informationen ist nicht möglich, was Variantenuntersuchungen sehr aufwendig macht. Die Informationen auf den Planzeichnungen sind statisch und können nicht für weitere Auswertungen verwendet werden. Bei der Übertragung von CAD-Daten muss auf die Interoperabilität der verwendeten Programme geachtet werden, damit es zu keinen Datenverlusten kommt (Albrecht, 2014).

In der BIM-orientierten Tragwerksplanung werden die Bauteile mit Hilfe einer 3D-Modellierungssoftware erzeugt. Das virtuelle, dreidimensionale Gebäudemodell ergibt die Planung des Bauwerks. Somit kann das Bauobjekt räumlich betrachtet werden. Es ist jederzeit möglich, Schnitte, Grundrisse und Detailzeichnungen widerspruchsfrei aus dem Modell abzuleiten. Die Modellierung des Gebäudes ist aufwendig, das Modell kann jedoch leicht modifiziert und bei Änderungen unkompliziert angepasst werden. Kommt es zu Planungsänderungen, werden Auswertungen wie Mengenermittlungen und Bauteillisten automatisch von der Software aktualisiert. Somit ist es möglich, Variantenuntersuchungen schnell durchzuführen. In der BIM-basierten Planung kann das Gebäudemodell um die Termin- und Kostenplanung erweitert werden. Dadurch kann der Bauablauf simuliert und die

zu erwartenden Kosten besser eingeschätzt werden. Die Kalkulation der Baukosten erfolgt dabei automatisiert. Die Software wertet die auszuführenden Mengen im Modell direkt aus. Im Idealfall arbeiten alle Planer an einem zentralen Modell, um Konvertierungsprobleme zu vermeiden. Dazu ist ein technologischer Standard bei allen Projektbeteiligten erforderlich. In der Praxis wird das Modell in der Regel vom Architekten an die entsprechenden Fachplaner verteilt, was zur Folge hat, dass die Vorteile eines zentralen Modells nicht voll ausgeschöpft werden können (Albrecht, 2014).

In der Tragwerksplanung werden zwei unterschiedliche Arten von digitalen Modellen verwendet. Ein geometrisches Modell beinhaltet die genaue Geometrie mehrerer Bauteile. Wird zum Beispiel ein Unterzug in einem BIM-Programm modelliert, besteht er aus einem dreidimensionalen Volumenmodell, das über Materialeigenschaften verfügt. Neben dem geometrischen Modell gibt es das analytische Modell, es bildet die Grundlage für die Berechnung von Verformungen und Spannungen. Die Geometrie des Bauteils wird häufig vereinfacht, da es auf entsprechenden mechanischen Modellen basiert. Das analytische Modell eines Unterzugs würde aus einer Systemlinie, einem Querschnitt und Randbedingungen bestehen. Diese beiden Modelltypen stehen miteinander in Bezug. Sie werden entweder in einer Datenbank realisiert oder die entsprechenden Elemente referenzieren einander (Borrmann et al. 2015). In Abbildung 3 soll der Unterschied zwischen geometrischem und analytischem Modell veranschaulicht werden. Auf der linken Seite sieht man ein geometrisches Wandelement, das in Revit erstellt wurde. Daneben ist das analytische Modell zu sehen, welches Revit automatisch erstellt. Revit leitet das analytische Modell aus dem Geometrischen Modell ab. Dabei ist das erhaltene analytische Modell abhängig vom geometrischen Modell. Aufgrund des mechanischen Rechenmodells wird aus dem dreidimensionalen Wandelement eine zweidimensionale Fläche. Während Länge und Höhe gleich bleiben, fällt die Breite weg. Das analytische Modell übernimmt auch die Materialeigenschaften des geometrischen Modells.



**Abbildung 3: Geometrisches und analytisches Modell.**

In der Entwurfsplanung werden alle Bauteile typgerecht modelliert und bezeichnet. Das Entwurfsmodell entsteht auf Grundlage des Vorentwurfsmodells. Es enthält erste wichtige Eigenschaften und verfügt über die vorgesehenen Räume (Egger et al. 2013). Der Statiker

muss das analytische aus dem geometrischen Modell ableiten. Während mit CAD-gestützter Planung die Systemlinien der tragenden Bauteile aus einem digitalisierten Architektenplan entnommen werden, wird das analytische Modell in modernen BIM-Programmen für Standardbauteile automatisch erstellt. Es ist möglich, das automatisch generierte System anzupassen und zu erweitern, ohne das geometrische Modell zu verändern. Um Schnittgrößen für die Bemessung zu berechnen, müssen Lasten, Lastfallkombinationen und Auflagerbedingungen erstellt werden (Borrmann et al. 2015).

Während der Genehmigungsplanung werden alle Bauteile im Detail angelegt. Aus diesem Modell werden die Pläne für die Genehmigungsplanung erstellt (Egger et al. 2013). Am Gesamtsystem und an verschiedenen Teilsystemen werden statische Nachweise gerechnet. Bestimmte Bauteile werden einzeln bemessen. Folgende Nachweise müssen erbracht werden:

- Decken müssen als ebene Platten nachgewiesen werden.
- Die Gesamtstabilität wird am Gesamtsystem nachgewiesen. Stützen müssen nach dem Ersatzstabverfahren oder nach Theorie II. Ordnung nachgewiesen werden.
- Bei Fundamentnachweisen können die Auflagerkräfte des Gesamtsystems übernommen und die resultierenden Fundamentabmessungen wieder an das BIM-Modell zurückgesendet werden.

Entsprechende BIM-Programme können für diese Aufgaben einzelne Bauteile aus dem Gesamtsystem herauslösen und die jeweiligen Ersatzbedingungen erzeugen (Borrmann et al. 2015).

Im Rahmen der Ausführungsplanung können Ansichten und Schnitte aus dem BIM-Modell entnommen werden. Der große Vorteil ist dabei, dass alle Pläne aus einem Modell erstellt werden und dadurch alle Pläne demselben Planungsstand entsprechen (Borrmann et al. 2015).

## 4 Technologische Grundlagen

Im Folgenden sollen die wichtigsten technologischen Konzepte vorgestellt werden, die das Building Information Modeling ermöglichen. Zu Beginn wird die 3D-Modellierung im Allgemeinen beschrieben. Anschließend soll näher auf die parametrische und objektorientierte Modellierung eingegangen werden. Als Letztes wird die Finite Elemente Methode beschrieben. Sie ist zwar nicht elementarer Bestandteil der BIM-Methode, stellt aber ein wesentliches Werkzeug für Statiker dar.

### 4.1 3D-Modellierung

Die grundlegende Technologie für BIM bildet die digitale 3D-Modellierung. Erste 3D-Modelle waren in den späten 60er Jahren verfügbar. Erste Modelle wurden mit Hilfe von Ansammlungen von Polyedern beschrieben. Es war möglich, die einzelnen Polyeder nach Belieben zu erstellen und diese dann zu einem Modell zusammenzufügen. Anfang der 70er Jahre wurde mit dem „solid modeling“ die erste Generation digitaler Designwerkzeuge eingeführt. Man konnte nun beliebige Festkörper im dreidimensionalen Raum darstellen und diese manipulieren. Es gab zwei Methoden, um dies zu bewerkstelligen. Das Begrenzungsflächenmodell (engl. Boundary Representation, BREP) definiert die Festkörper über seine begrenzenden Oberflächen, wohingegen die konstruktive Festkörpergeometrie (engl. Constructive Solid Geometry, CSG) 3D-Modelle als Kombination von Objekten darstellt. Mithilfe der booleschen Algebra werden aus einfachen 3D-Körpern komplexe Abbildungen. Später wurden beide Methoden miteinander kombiniert, um Ende der 70er Jahre und Anfang der 80er Jahre erste CAD-Programme zu entwickeln. Die Idee, Körper mit Attributen zu verknüpfen, führte zur parametrischen Modellierung. Man konnte nun geometrische Modelle erstellen, funktionale Abhängigkeiten erzeugen und Attribute definieren (Eastman 2011).

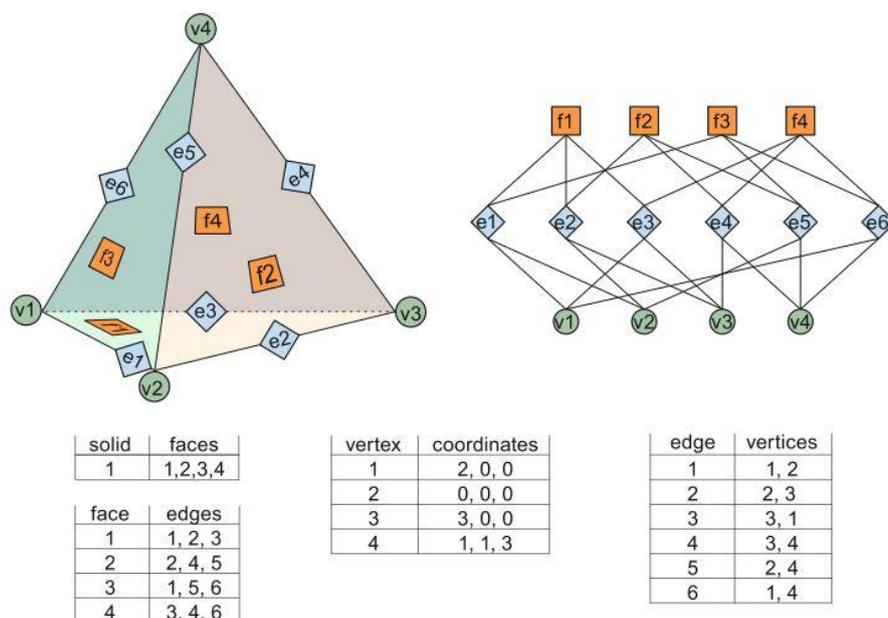


Abbildung 4: Prinzip der BREP Datenstruktur (Borrmann et al. 2015)

Die BREP Methode ist ein explizites Verfahren, was bedeutet, dass das erstellte Modell über seine Oberflächen definiert wird. Das einfachste BREP Modell besteht aus einer Hierarchie von Randelementen. Die Hierarchie bildet den Kern der Systematik und in ihr werden die Elemente Körper, Flächen, Kanten und Knoten festgehalten. Jedes Element wird über seine Nachbarelemente der nächst tieferen Ebene definiert. Jeder Körper kann über seine Flächen, jede Fläche über die Kanten und jede Kante über Anfangs- und Endknoten dargestellt werden (Borrmann et al. 2015).

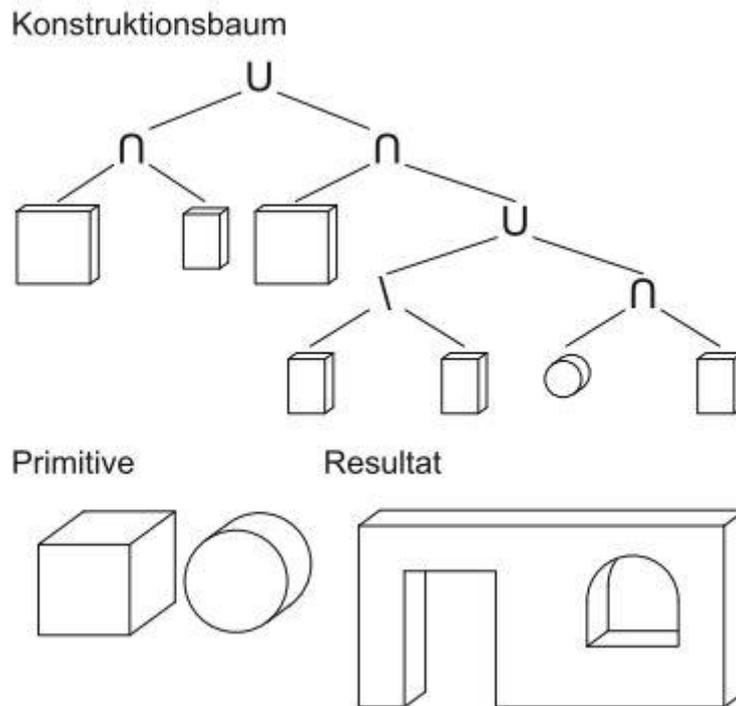


Abbildung 5: Prinzip des CSG-Verfahrens (Borrmann et al. 2015)

Die CSG Methode gehört zu den impliziten Verfahren, das heißt, es werden die Konstruktionsschritte aufgezeichnet, die durchgeführt werden müssen, um das Modell zu erstellen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer prozeduralen Erstellung eines Modells. Vorgefertigte geometrische Körper wie Würfel, Zylinder und Pyramiden werden über die booleschen Operationen Vereinigung, Schnitt und Differenz zusammengefügt. Das Resultat ist ein Konstruktionsbaum, der den Körper eindeutig abbildet (Borrmann et al. 2015).

## 4.2 Parametrische Modellierung

BIM-Programme unterstützen die parametrische Modellierung. Ein Planer visualisiert keine einzelnen Bauteile wie bei der reinen Geometriemodellierung, sondern definiert eine Objektklasse oder Objektfamilie. Den Klassen können nicht veränderliche und parametrische Eigenschaften hinzugefügt werden. Außerdem ist es möglich, Abhängigkeiten, Bedingungen und Regeln für die Parameter festzulegen. Als Parameter können zum Beispiel Höhe, Breite und Länge bestimmt werden. Bedingungen und Regeln kann man definieren, um sicherzustellen, dass ein geplantes Design auch in dem Modell umgesetzt wird.

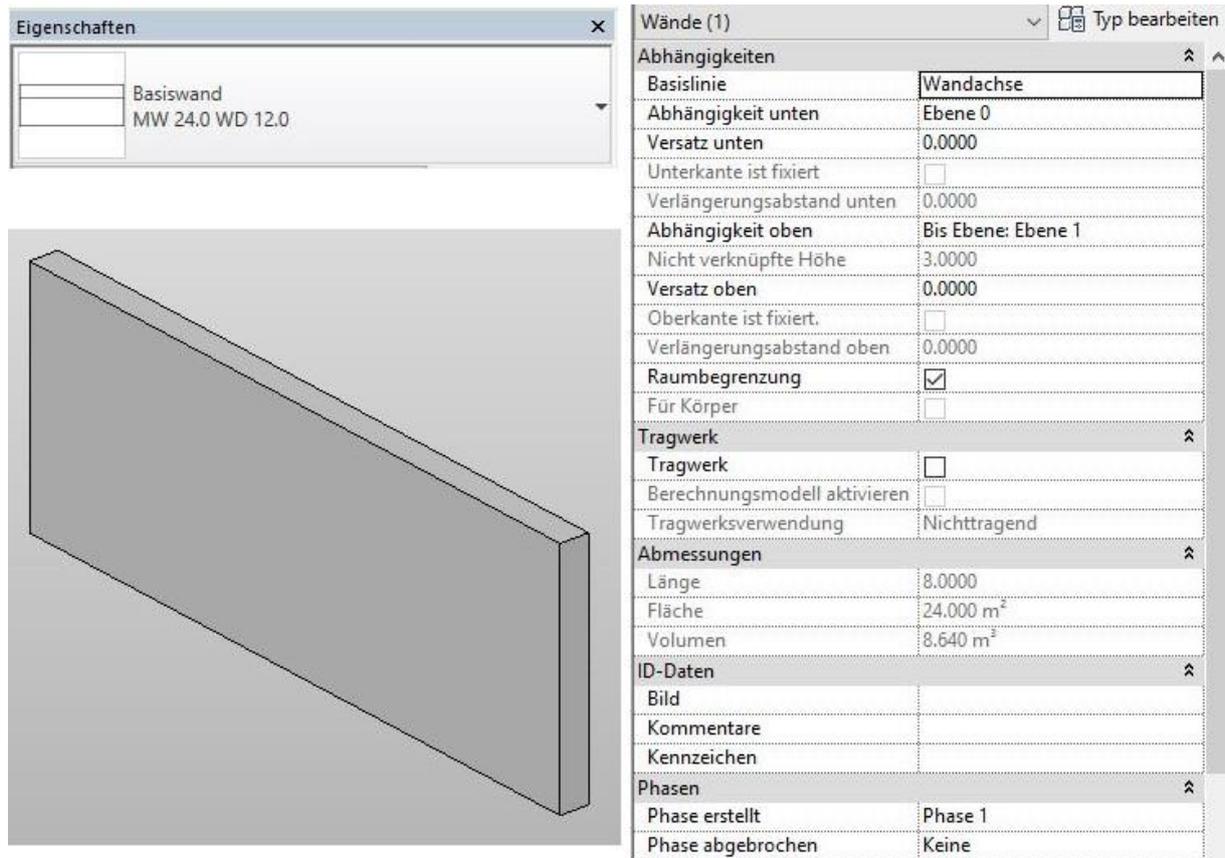


Abbildung 6: Parametrik in Revit

Instanzen der Klassen werden mit den bereits definierten Parametern und unter Einhaltung der Regeln und Abhängigkeiten erstellt. So kann zum Beispiel eine Objektklasse „Wand Untergeschoss“ definiert werden. Dadurch entstehen Abhängigkeiten im Modell. Die Wand wird an das Untergeschoss gebunden. Es ist nun nur möglich, diese Wand im Untergeschoss zu platzieren. Damit wird sichergestellt, dass die Wand nicht an einer unerwünschten Stelle Eingang ins Modell findet. Als Parameter werden die Länge mit 5 m, die Breite mit 0,3 m und die Höhe mit 2,3 m festgelegt. Damit hat jede Instanz die gleichen Abmessungen. Außerdem soll jeder Wandabschnitt einer Instanz bündig mit dem Wandabschnitt einer anderen Instanz abschließen. So kann verhindert werden, dass Wandabschnitte ineinander ragen.

Mithilfe der Parameter ist die Anpassung an neue Rahmenbedingungen leicht möglich. Soll zum Beispiel die Höhe einer Instanz der Objektklasse „Wand Untergeschoss“ erhöht werden,

reicht es, den Wert des Parameters Höhe zu ändern, um alle Instanzen mit der neuen Höhe zu aktualisieren (Eastman 2011).

Die Parametrik wird in BIM-Programmen auf zwei unterschiedliche Arten genutzt. Es lassen sich parametrische Bauteilklassen erstellen und es ist möglich, die Position und die Lage der verschiedenen Bauteile zu parametrisieren (Borrmann et al. 2015). Zum Beispiel können Betonstützen mithilfe von Referenzgittern einfacher positioniert werden. Dabei wird festgelegt, in welchem Abstand die Stützen eingefügt werden sollen. Es ist also nicht mehr nötig, jede Stütze einzeln zu platzieren.

Sind alle Bauteilklassen und Positionspläne erstellt worden, ist das Modellieren des gesamten Gebäudemodells der nächste Schritt. Dabei ist es nicht mehr möglich, Parameter zu definieren. Es kann jedoch auf Bedingungen zurückgegriffen werden. Zu diesen Bedingungen zählen:

- Ausrichtung: Bauteile werden horizontal oder vertikal aneinander bzw. an Referenzebenen ausgerichtet.
- Orthogonalität: Bauteile bleiben orthogonal zueinander.
- Parallelität: Bauteile bleiben parallel zueinander.
- Verbindung: Die Verbindung zweier Bauteile bleibt erhalten.
- Abstand: Der Abstand zwischen zwei Bauteilen bleibt erhalten.
- Gleiche Abmessungen: Zwei beliebige vom Nutzer zu definierende Abmessungen bleiben gleich groß.

BIM-Programme, die die parametrische Modellierung unterstützen, sind unter anderem Autodesk Revit, Allplan, Graphisoft ArchiCAD und Tekla Structure (Borrmann et al. 2015).

### 4.3 Objektorientierte Modellierung (OOM)

Um den Bauprozess ausreichend genau digital modellieren beziehungsweise simulieren zu können, müssen neben geometrischen auch semantische Informationen abgebildet werden. Es muss möglich sein, Angaben über den Herstellungsprozess, die Nutzeigenschaft einzelner Räume und die verwendeten Materialien zu machen. Daher bedarf es einer Methodik, welche die Elemente der Realität als Computerprogramm abbildet.

In der Informatik wurden verschiedene Konzepte entwickelt, um die Realität digital zu beschreiben. Eine der wichtigsten Methoden ist die objektorientierte Modellierung. Aus ihr gingen in den 70er Jahren erste objektorientierte Programmiersprachen hervor (Borrmann et al. 2015). Ziel war es, ein Werkzeug zu finden, welches ermöglichte, komplexe Zusammenhänge übersichtlich zu strukturieren und abzubilden, um diese dann in Computerprogrammen zu implementieren.

Die Kernidee der OOM ist das Einteilen der Realität in eine Ansammlung von klar unterscheidbaren, identifizierbaren und einzeln beschreibbaren Objekten. Dabei können aus mehreren Objekten komplexe Objekte erstellt werden. Die Komplexität einer realen Gegebenheit soll reduziert werden, um diese einfacher bearbeiten zu können (Borrmann et al. 2015).

Die Methode der objektorientierten Modellierung besteht aus der objektorientierten Analyse (OOA), dem objektorientierten Design (OOD) und der objektorientierten Programmierung (OOP). Während der OOA soll genau definiert werden, welche Zusammenhänge und Probleme bearbeitet und gelöst werden sollen. Das OOD beschäftigt sich mit dem Aufbau des Modells. Es wird festgelegt, aus welchen Objekten das Modell besteht, wie die Objekte untereinander in Beziehung stehen und welche Eigenschaften die Objekte besitzen. Die OOP umfasst die praktische Umsetzung des Modells. Es muss entschieden werden, welche Programmiersprache, welche Datenstrukturen und welche Algorithmen verwendet werden sollen (Borrmann et al. 2015).

Die Systematik der OOM ermöglicht es also, BIM-Programme zu entwickeln, die aus verschiedenen Objekten bestehen und einen Teil des Bauprozesses darstellen.

#### 4.4 Finite Elemente Methode

Die Finite Elemente Methode basiert auf dem Verschiebungsgrößenverfahren und ist die am häufigsten verwendete Systematik zur Analyse von statischen Systemen (Barth und Rustler 2010). Ein reales Tragwerk wird in ein Netz aus endlich vielen finiten Elementen unterteilt, deren mechanisches Verhalten mit Näherungsansätzen beschrieben wird. Damit wird das Randwertproblem des realen Tragwerks auf die einzelnen Elemente übertragen. Die Eigenschaften des Elementkontinuums werden an den Knotenpunkten zwischen den Elementen festgehalten. Dadurch kann das reale Tragwerk mathematisch abgebildet werden. Durch diese Strukturierung entsteht ein endlich lösbares Gleichungssystem. Die Zerlegung des Tragwerks in die Elemente geschieht in FEM-Programmen in der Regel automatisch. In den Knotenpunkten werden Verschiebungsgrößen als Freiheitsgrade definiert und Belastungen zusammengefasst. Die Anzahl der Freiheitsgrade hängt vom Tragwerk ab. Bei zweidimensionalen Tragwerksbetrachtungen gibt es drei Freiheitsgrade und bei einer dreidimensionalen Betrachtung sechs (Barth und Rustler 2010).

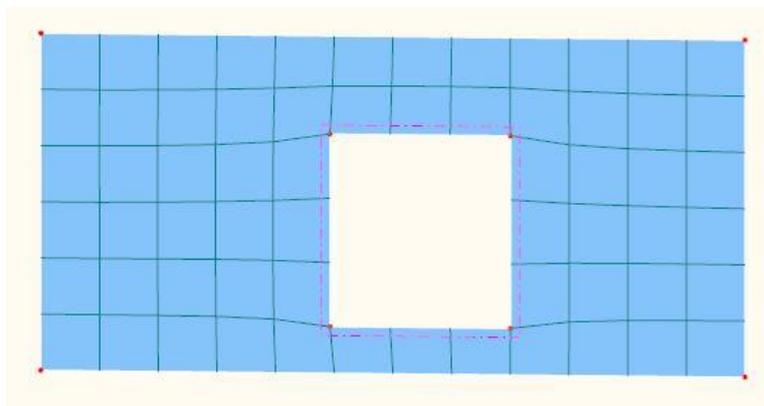


Abbildung 7: FEM-Netz einer Wand mit Öffnung - RFEM

Mit der FEM lassen sich komplexe Strukturen mit beliebigen Lasten, Geometrien und Lagerungen simulieren. Schnittkräfte, Verformungen und Lagerreaktionen können bestimmt werden. Außerdem ist es möglich physikalische und geometrische Nichtlinearität zu berücksichtigen. Damit ist die Bemessung von Tragwerken nach Theorie 2. Ordnung und Theorie der großen Verschiebungen möglich.

Während die Vorteile der FEM überwiegen, gibt es zwei grundsätzliche Nachteile:

- Die FEM ist eine Näherungsberechnung
- An einzelnen Stellen steht keine Lösung zur Verfügung

Trotz dieser Defizite gibt es im Bauwesen keine vergleichbare Alternative (Barth und Rustler 2010).

## 5 Datenaustausch und Kollaboration

Am Bauprozess sind viele Fachplaner unterschiedlicher Disziplinen beteiligt. Um die Arbeit dieser Spezialisten zu vereinfachen, müssen BIM-Werkzeuge über bestimmte Voraussetzungen verfügen. Nachfolgend wird auf den Begriff der Interoperabilität eingegangen und das IFC Datenformat vorgestellt.

### 5.1. Kollaboration

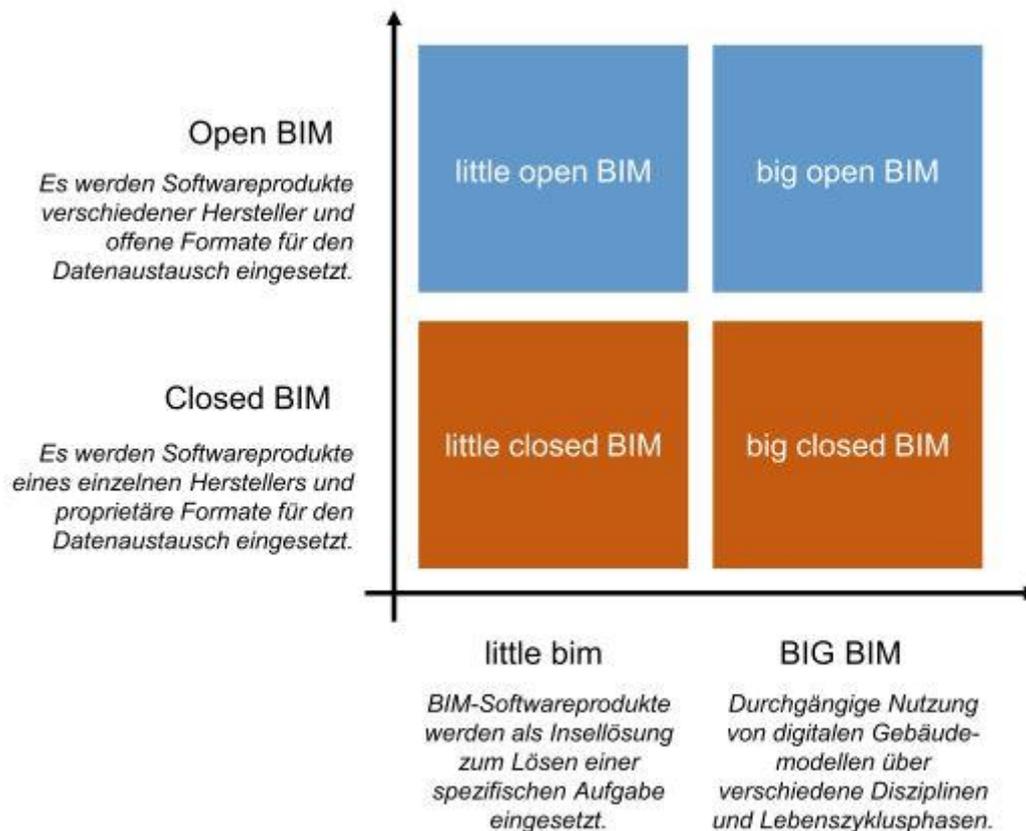


Abbildung 8: Reifegradstufen von BIM (Borrmann et al. 2015)

Bei der Anwendung von BIM unterscheidet man verschiedene Entwicklungsstufen. Dabei steht „little bim“ für die Nutzung eines bestimmten BIM-Werkzeugs durch einen Planer, der fachspezifische Aufgaben bearbeitet. Es wird ein Modell erstellt, von dem Pläne abgeleitet werden. Das Modell wird nicht mit anderen Programmen modifiziert. Ebenso wenig wird das Modell für die Koordination zwischen Planern verschiedener Disziplinen verwendet. Durch diese Vorgehensweise wird zwar eine höhere Effizienz erreicht, das Potenzial einer durchgängigen Nutzung der Modelle wird aber nicht ausgeschöpft. „BIG BIM“ hingegen bezeichnet die modellbasierte Kommunikation zwischen allen Planern über den kompletten Lebenszyklus des Gebäudes hinweg. Um Daten komfortabel austauschen zu können, werden Internetplattformen und Datenbanken verwendet (Borrmann et al. 2015).

Die Arbeit an einem zentralen Gesamtmodell, das auf einer Internetplattform gespeichert ist, auf das alle Fachplaner gleichzeitig Zugriff haben, ist zurzeit unter realen Anforderungen

noch nicht möglich. Vielmehr werden die Fachmodelle von den Fachplanern separat angefertigt und zu Koordinationszwecken zusammengefügt (Egger et al. 2013).

## 5.2 Interoperabilität

Da bei der Verwendung der BIM-Methode eine Vielzahl von Programmen benötigt wird, muss ein reibungsloser Datenaustausch möglich sein. Benötigt werden zum Beispiel Simulations- und Berechnungsprogramme, da unter anderem statische Kalkulationen, Beleuchtungssimulationen und Kostenabrechnungen durchgeführt werden müssen. Während mithilfe dieser hoch spezialisierten digitalen Werkzeuge die entsprechenden Fragestellungen effizient bearbeitet werden können, ist der Datenaustausch zwischen diesen Programmen oft problematisch. Die Folge ist, dass bereits digitalisierte Informationen erneut eingegeben werden müssen. Dadurch reduzieren sich die gewünschten Effizienzeffekte (Borrmann et al. 2015).

Ein Grund dafür ist die fehlende Standardisierung von Bausoftware. Die Interoperabilität, also der verlustfreie Austausch von Daten zwischen Programmen von unterschiedlichen Herstellern, ist daher nicht optimal. Hinzu kommt, dass bei einem Bauprojekt sehr viele unterschiedliche Firmen von der Planung über die Ausführung bis hin zum Gebäudebetrieb zusammenarbeiten. Da diese Betriebe im Allgemeinen auf Projektbasis kollaborieren, kommen zahlreiche Softwareprodukte zum Einsatz, und eine Festlegung auf die Software von einem Hersteller ist nur schwer möglich. Außerdem wäre ein Monopol eines Softwareherstellers weder für öffentliche noch für private Bauherren von Vorteil (Borrmann et al. 2015).

Um eine reibungslos funktionierende Interoperabilität zwischen Softwareprodukten von unterschiedlichen Entwicklern zu ermöglichen, ist ein Datenaustauschformat von Nöten. Dieses muss den verlustfreien Informationsaustausch gewährleisten, eine einheitliche und eindeutige Beschreibung der geometrischen Informationen ermöglichen und die semantischen Zusammenhänge detailliert abbilden können. Außerdem sollte es ein offenes, neutrales und standardisiertes Datenformat sein (Borrmann et al. 2015).

## 5.3 Industry Foundation Classes

Die Industry Foundation Classes (IFC) sind ein neutrales und offenes Datenformat. Dieses soll den Austausch und die Beschreibung von Gebäudedaten im Bau- und Immobiliensektor ermöglichen. IFC ist der internationale Standard zum Speichern von BIM-Daten und wird von buildingSMART International entwickelt und gepflegt. buildingSMART ist eine internationale und gemeinnützige Organisation, die sich das Ziel gesetzt hat, eine universelle Grundlage zum digitalen Informationsaustausch innerhalb der Bau- und Immobilienindustrie zu schaffen (buildingSMART 2016).

Das Datenformat wurde ab der ersten Version unabhängig von der ISO kostenlos, herstellerneutral und frei zugänglich veröffentlicht. Außerdem wurde für die Verwendung des Datenmodells keine Lizenzgebühr erhoben. Aufgrund der nachträglichen Normierung als ISO Standard, ist das IFC-Format interessanter für die öffentliche Hand geworden. In einigen Ländern ist es bereits ein verbindliches Austauschformat für Vergabe- und

Genehmigungsverfahren. Aufgrund der Offenheit hat sich das IFC-Modell als Standard für Open BIM etabliert (Borrmann et al. 2015).

Das Datenmodell ist sehr umfangreich und komplex und ist daher in mehreren Schichten (engl. Layer) aufgeteilt. Um die Unabhängigkeit der Kernelemente sicher zu stellen, dürfen Elemente der oberen Schichten auf Elemente der unteren Schichten verweisen, aber nicht umgekehrt. In Abbildung 5 kann man den Aufbau der Datenstruktur sehen. Der Core Layer vereint alle elementaren Klassen des Formats, die von allen darüber liegenden Schichten referenziert werden können. In ihm werden Basisstrukturen, grundlegende Beziehungen und allgemeine Konzepte definiert, die in höher liegenden Schichten verwendet werden können. Der Shared Layer befindet sich über dem Core Layer und bildet eine Trennebene zwischen dem Kern und dem Domain Layer. Er beinhaltet Klassen, die von Klassen der Core Layer abgeleitet und für verschiedene Anwendungsschemata verwendet werden können. Der Domain Layer besteht aus Klassen, die nur einer Domäne zugeordnet werden können. Diese Klassen können weder von einem anderen Layer, noch von einem anderen domänenspezifischen Schema aufgerufen werden. In dem Resource Layer sind Klassen zu finden, die grundlegende Datenstrukturen für das gesamte Datenformat zur Verfügung stellen (Borrmann et al. 2015).

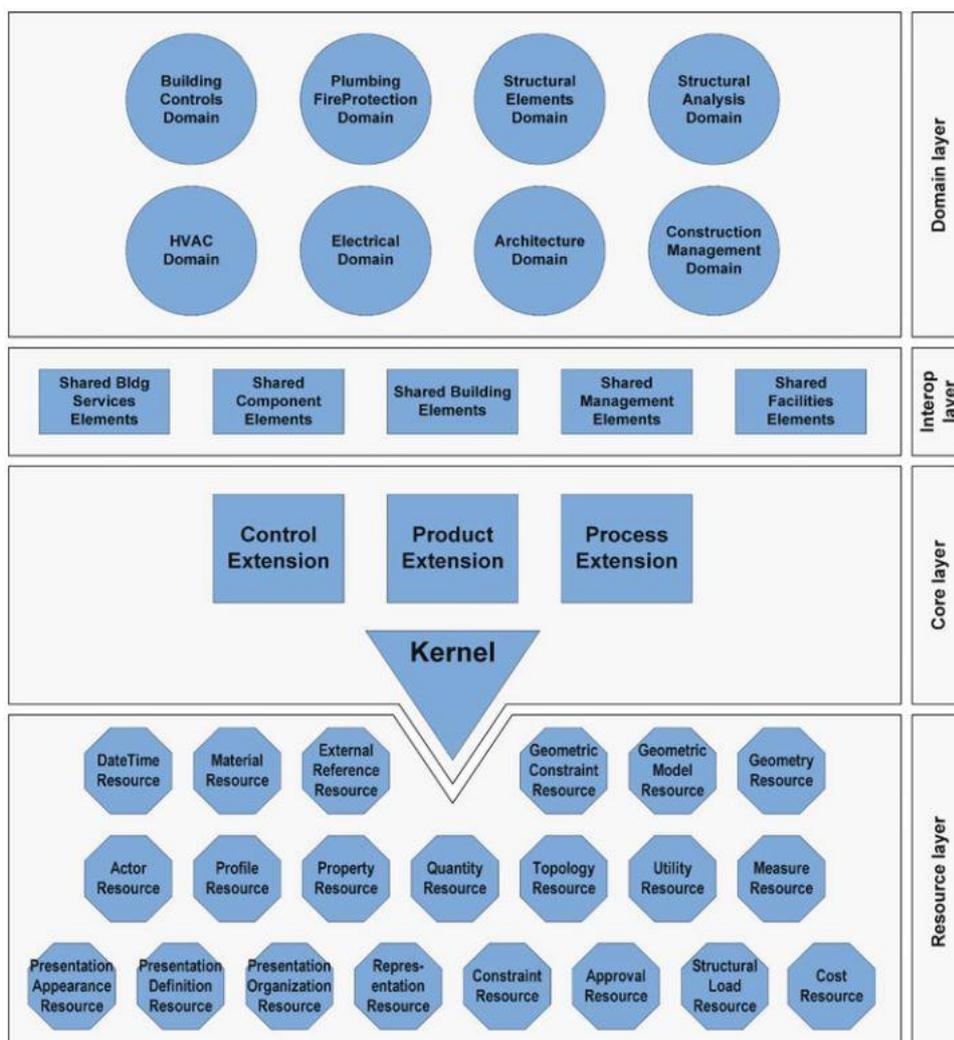


Abbildung 9: Aufbau des IFC-Modells (Borrmann et al. 2015)

Zu den wichtigsten Objektbeziehungen gehören Teil-Ganzes-Beziehungen, Verbindungen oder Typendefinitionen. Im IFC-Datenmodell sind Zusammenhänge als objektifizierte Beziehungen umgesetzt. Relevante Beziehungen werden nicht über eine direkte Assoziation dargestellt, sondern mithilfe eines dazwischengeschalteten Objekts abgebildet (Borrmann et al. 2015).

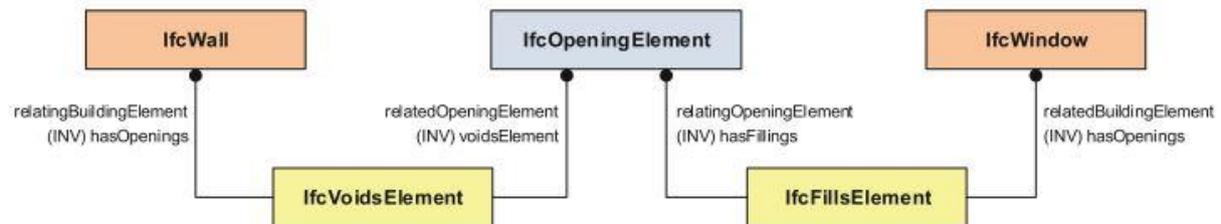


Abbildung 10: Objektbeziehungen (Borrmann et al. 2015)

In Abbildung 10 wird die schematische Darstellung des Prinzips der objektifizierten Beziehungen gezeigt. Um dieses Prinzip weiter zu veranschaulichen wurde eine Wand mit Öffnung in Revit modelliert und anschließend als IFC-Datei exportiert.

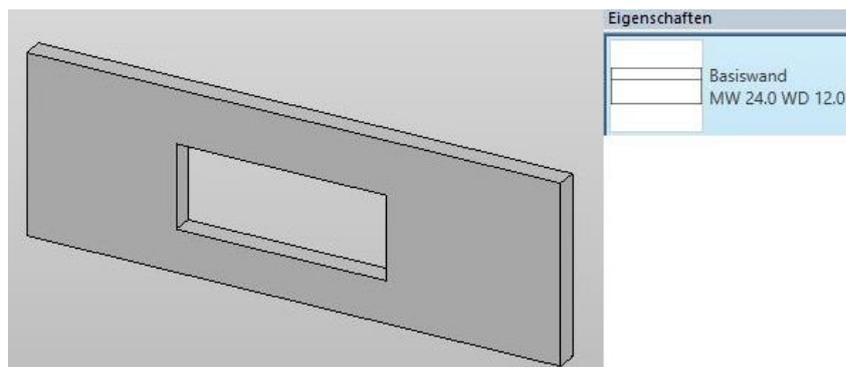


Abbildung 11: Wand mit Öffnung (Revit)

Öffnet man die IFC-Datei mit einem Texteditor, kann man den Aufbau der Datei untersuchen. Die Datei besteht aus zwei Teilen. Während im Abschnitt Header allgemeine Informationen stehen, beinhaltet der Abschnitt Data alle wichtigen Daten, um ein Modell beschreiben zu können. Von Interesse ist die Position #204, die man im Abschnitt Data findet. Sie bildet das Verbindungsobjekt.

```
#204= IFCRELVOIDSELEMENT('0YRs$PN_D93xI4CdR5LG$w',#41,$,$,#175,#199);
```

In der Klammer ist zu sehen, dass auf drei Positionen verwiesen wird. Die Position #175 enthält alle wichtigen Informationen der modellierten Wand.

```
#175= IFCWALLSTANDARDCASE('16GI94iSr8SQettk9hPhzY',#41,'Basiswand:MW 24.0 WD 12.0:375275',$,'Basiswand:MW 24.0 WD 12.0:3900',#144,#171,'375275');
```

Die Position #199 stellt die Öffnung dar.

```
#199= IFCOPENINGELEMENT('2CFa05L8P5VBEvgkG1tShK',#41,'Basiswand:MW 24.0  
WD 12.0:3900',$','Opening',#197,#194,$);
```

Vergleicht man die drei Positionen #175, #199 und #204 mit der Abbildung 7, kann man feststellen, dass die Verweise in der Datei der schematischen Darstellung entsprechen.

Das Datenschema ist darauf ausgelegt, alle wichtigen Informationen eines Bauwerks abbilden zu können, allerdings werden diese Informationen nicht von jedem Fachplaner benötigt. Soll eine statische Berechnung durchgeführt werden, sind beispielsweise die Wandfarben irrelevant. Daher ist es von Vorteil, das Modell für bestimmte Fälle zu spezialisieren. Solche Partial-, Aspekt- oder Teilmodelle werden aus einem BIM abgeleitet. Um beim Datenaustausch Probleme zu vermeiden, muss der Inhalt des Teilmodells definiert werden (Borrmann et al. 2015). Teilmodelle des IFC-Datenformats heißen IFC View Definition oder Model View Definition (MVD). Sie wurden eingeführt, um bestimmte Datenaustauschszenarien zu ermöglichen. Die Methode, mit der MVDs definiert werden, heißt Information Delivery Manual (IDM) (buildingSMART 2016).

Die „Structural Analysis Model View Definition“ ist ein Teilmodell, das dem Datenaustausch analytischer Modelle dient. Damit ist es möglich, statische Modelle zwischen verschiedenen BIM-Werkzeugen, die der Tragwerksanalyse dienen, auszutauschen. Der Datenaustausch zwischen Architekturmodellen und Statik-Modellen ist nicht vorgesehen. Aus Abbildung 5 sind die verfügbaren Elemente des Teilmodells ersichtlich. Es können gekrümmte und ebene Flächen dargestellt werden. Außerdem gibt es Punkt-, Linear- und Flächenlasten. Lastfälle und Lastgruppen können definiert werden. Die Modelle werden über Punkt- und Kurvenverbindungen zusammengefügt. FEM-Analysen können nicht mit dem Teilmodell realisiert werden (Lehtinen et al. 2012).

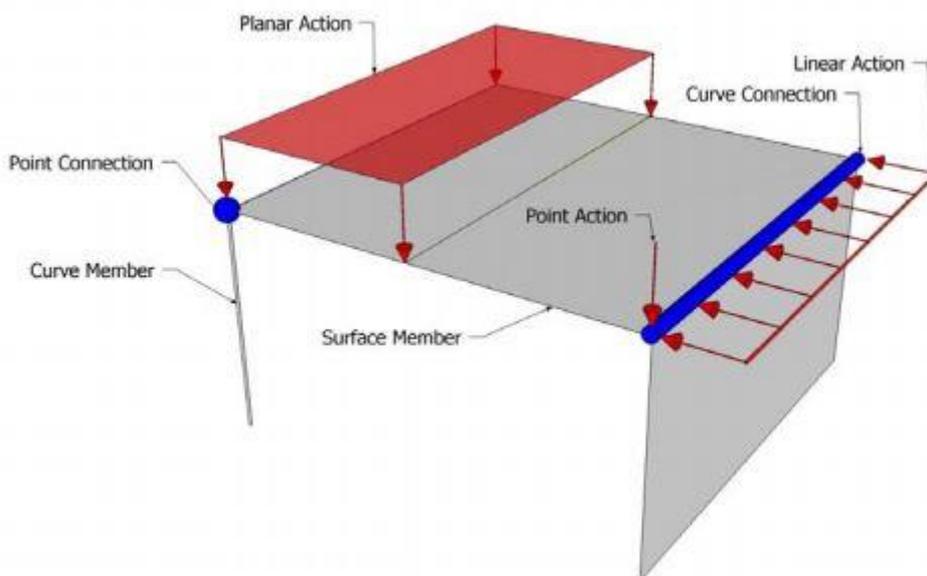


Abbildung 12: Structural Analysis Model View ( Lehtinen et al. 2012)

## 6 Szenario

In diesem Kapitel wird ein BIM-basierter Workflow dargestellt. Dabei soll der Datenaustausch zwischen den Softwareprodukten Autodesk Revit 2016 und RFEM 5 untersucht werden. Zu Beginn werden die verwendeten Programme kurz vorgestellt. Danach wird der Workflow genau beschrieben.

Um den Datenaustausch zwischen den beiden Softwareprodukten besser und ganzheitlicher untersuchen zu können, werden zwei Modelle unabhängig voneinander erstellt. Das erste Modell wird in Revit modelliert und anschließend mittels nativer Schnittstelle und IFC Schnittstelle in RFEM importiert. Anschließend werden die Importergebnisse verglichen. Das zweite Modell wird in RFEM erstellt und dann über die native Schnittstelle nach Revit exportiert. Dabei soll gezeigt werden, dass vordefinierte Bauteile aus RFEM nach Revit übertragen werden können.

### 6.1 Revit

Revit 2016 ist ein Softwareprodukt der Firma Autodesk, das speziell für Building Information Modeling entwickelt wurde. Es beinhaltet die Funktionen Revit Architecture, Revit Structure und Revit Systems (Autodesk GmbH 2016).

Revit Architecture richtet sich an Architekten und bietet Entwurfs- und Präsentationswerkzeuge. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird vorwiegend mit diesem Programmbereich gearbeitet. Revit Structure unterstützt die Arbeit des Tragwerkplaners mit Funktionen, die die statische Analyse von Tragwerksmodellen ermöglichen. Revit Systems erlaubt es Gebäudetechnikern, Pläne für die Gebäudeausrüstung zu erstellen.

Revit bietet eine Vielzahl an Modellierungsfunktionen und unterstützt die parametrische Modellierung. So kann man auf verschiedene Objektbibliotheken bzw. Objektklassen zurückgreifen und vorgefertigte Bauteile direkt in ein Projekt integrieren. Es ist aber auch möglich, neue Objektklassen zu definieren und diese frei zu gestalten. Die verschiedenen Objekte in einem Modell stehen in Beziehung zueinander. Diese Verknüpfungen werden zum Teil automatisch erstellt, können aber auch manuell vorgenommen werden. Wird eine Instanz einer Objektklasse geändert, können diese Änderungen für alle anderen Instanzen derselben Objektklasse übernommen werden. Durch diese Funktion lassen sich viele Arbeitsschritte automatisieren (Autodesk GmbH 2016).

Autodesk wurde 1982 gegründet und entwickelt seitdem Visualisierungssoftware für die unterschiedlichsten Branchen. Mittlerweile konzentriert sich die Firma auf Programme, mit denen man dreidimensionale, digitale Objekte erschaffen und modifizieren kann. Autodesk beschäftigt weltweit mehr als 6600 Mitarbeiter (Autodesk GmbH 2016).

## 6.2 RFEM

RFEM 5 ist eine Software, mit der es möglich ist, Tragwerke mithilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) zu untersuchen. Sie bildet zusammen mit RSTAB 8 den Kern einer modular aufgebauten Programmfamilie der Firma Dlubal. Mit RSATB lassen sich 2D und 3D Stabsysteme berechnen. Neben den Hauptprogrammen gibt es eine Vielzahl von Zusatzmodulen, die die Dateneingabe erleichtern und die Bemessungen nach verschiedenen Normen ermöglichen sollen (Dlubal Software GmbH 2016).

Die Dlubal GmbH wurde 1987 gegründet und entwickelt seitdem Programme für Statik, Dynamik und Bemessung. Mittlerweile beschäftigt die Firma über 180 Mitarbeiter und hat Niederlassungen in Tiefenbach, Leipzig, Prag, Kattowitz, Paris, Bologna und Philadelphia. Die Produkte werden auf der ganzen Welt in Ingenieurbüros, Baufirmen und Hochschulen eingesetzt (Dlubal Software GmbH 2016).

Mit RFEM 5 ist es möglich, Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen für Platten, Schalen, Volumen- und Stabtragwerke zu ermitteln. Um diese Berechnungen durchführen zu können, muss man vorher das Tragwerk modellieren. Diesen Modellen können unterschiedliche Materialeigenschaften zugewiesen werden. Dadurch ist es möglich, Bauteile des Stahl-, Stahlbeton-, Holz- und Glasbaus zu dimensionieren. Da die wichtigsten internationalen Normen im Programm integriert sind, können diese unkompliziert berücksichtigt werden (Dlubal Software GmbH 2016).

Building Information Modeling wird von RSTAB und RFEM unterstützt. In beiden Programmen ist eine Vielzahl von Schnittstellen zu Programmen anderer Hersteller implementiert. Eine dieser Schnittstelle wird in der vorliegenden Arbeit als native Schnittstelle genutzt. Außerdem wird die IFC-Schnittstelle näher betrachtet.

## 6.3 Vorbereitungen

In dieser Arbeit soll ein Szenario zum Datenaustausch zwischen Architekt und Tragwerksplaner demonstriert und untersucht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Umgang mit den zwei BIM-Werkzeugen studiert werden.

Der Softwarehersteller Dlubal stellt eine Vielzahl von informativen Webseminaren für seine Produkte zur Verfügung. Diese sind frei zugänglich und auf der Internetseite des Entwicklers zu finden (<https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/beispiele>). Außerdem gibt es ein Einführungs- und ein Übungsbeispiel, die als Textdokumente heruntergeladen werden können.

Mit dem Autodesk Knowledge Network (<https://knowledge.autodesk.com/de/>) stellt Autodesk eine umfangreiche Lernplattform zur Verfügung. Dort gibt es Einführungsbeispiele und Erklärungen zu den einzelnen Funktionen der verschiedenen Programme.

Revit und RFEM sind für Studenten frei zugänglich. Um eine Studentenlizenz für Dlubal Produkte zu erhalten, ist ein Formular auszufüllen und eine Kopie der Immatrikulationsbescheinigung an den Hersteller zu schicken. Die Lizenz ist für ein Semester gültig und kann erneut beantragt werden. Möchte man Revit als Student nutzen, reicht es, ein

Konto auf der Autodesk-Internetseite zu eröffnen. Anschließend kann die gewünschte Software heruntergeladen werden. Die Funktionen der Programme sind bei einer Studentenlizenz nicht eingeschränkt.

## 6.4 Modellieren in Revit – Pandion Gardens

Zu Beginn des Revit-Rfem-Workflows wurde ein Gebäudemodell in Revit erstellt. Im Folgenden soll erklärt werden, wie das Modell entstanden ist und worauf geachtet wurde. Als Vorlage dienten Grundrisse der Pandion Gardens. Dabei handelte es sich um ein Bauprojekt in München im Stadtteil Neuhausen. Das Modell sollte in erster Linie genutzt werden, um den Datenaustausch zwischen RFEM und REVIT zu untersuchen.

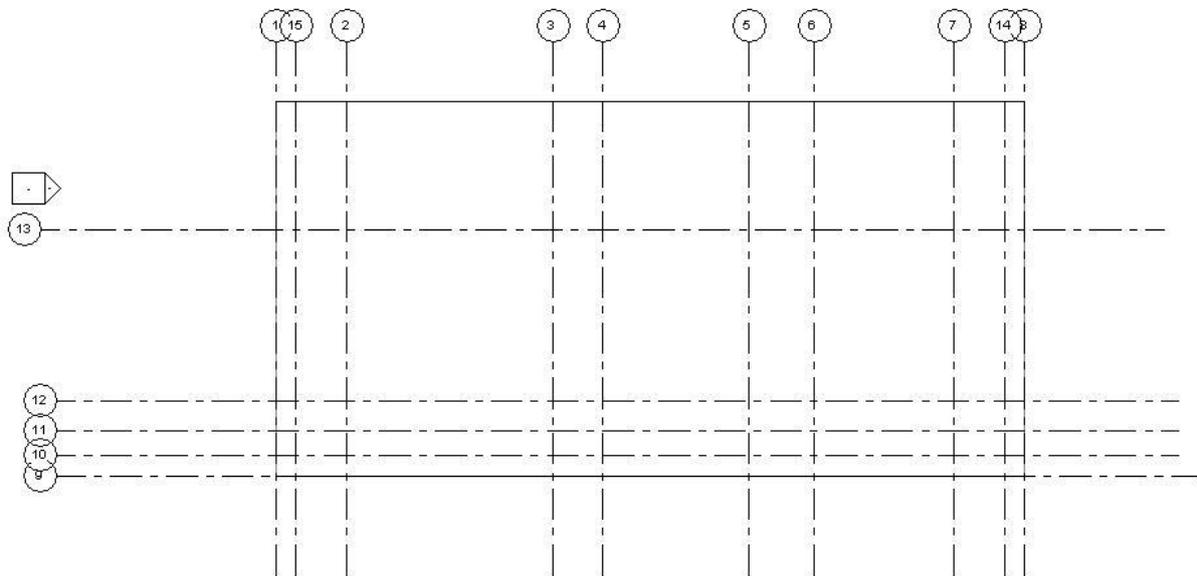
Bevor man mit dem eigentlichen Modellieren in Revit beginnt, wird die Höhe der Stockwerke festgelegt. Anschließend werden Höhenlinien für fünf Stockwerke angelegt.



**Abbildung 13: Höhenlinien - Frontansicht**

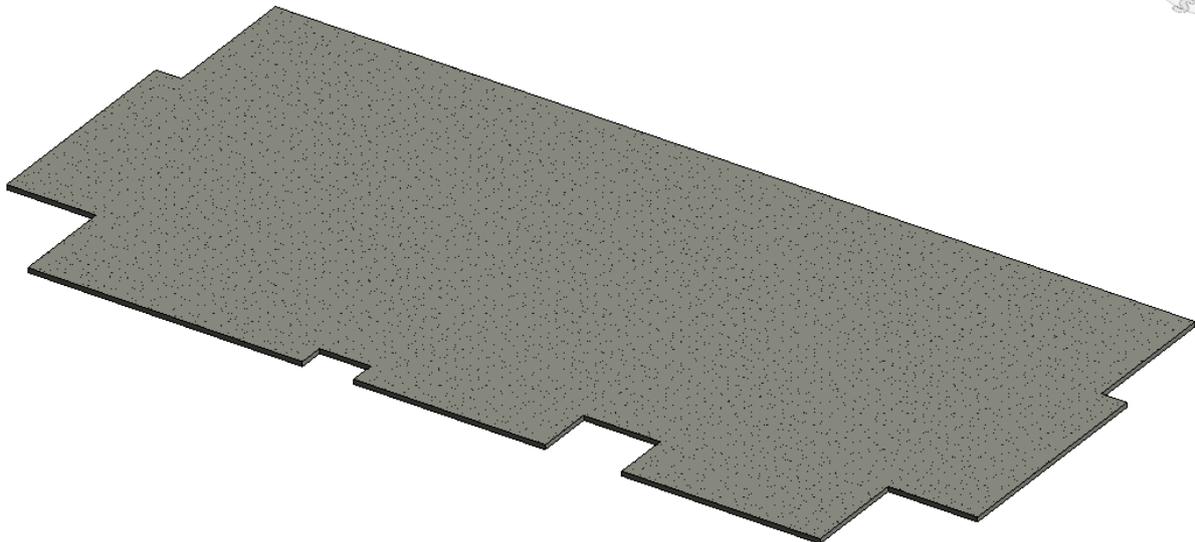
Für jedes Stockwerk erstellt Revit automatisch eine separate Ansicht. Damit lassen sich Böden und Wände der einzelnen Stockwerke unkompliziert errichten. Es wird gewährleistet, dass die modellierten Objekte nur in dem ausgewählten Stockwerk erstellt werden. Es ist somit nicht mehr nötig, Objekte zu verschieben, da sie direkt an der gewünschten Stelle platziert werden können.

Anschließend wird ein Raster erstellt, um die Wände genau positionieren zu können. Die einzelnen Abstände zwischen den Linien entsprechen den Maßen für die wichtigsten Details des Grundrisses.



**Abbildung 14: Raster - Draufsicht**

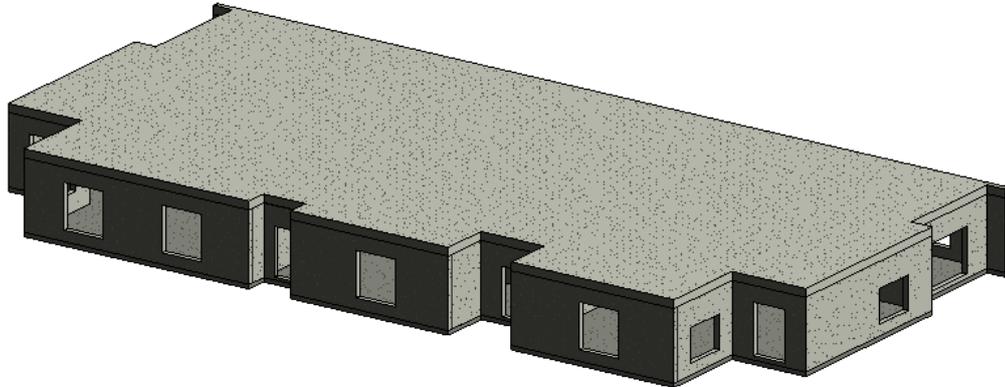
Da nun die Hilfslinien in den verschiedenen Ansichten zur Verfügung stehen, kann mit dem Modellieren begonnen werden. Mit Hilfe des Rasters wird das Fundament als Betonplatte erstellt.



**Abbildung 15: Bodenplatte**

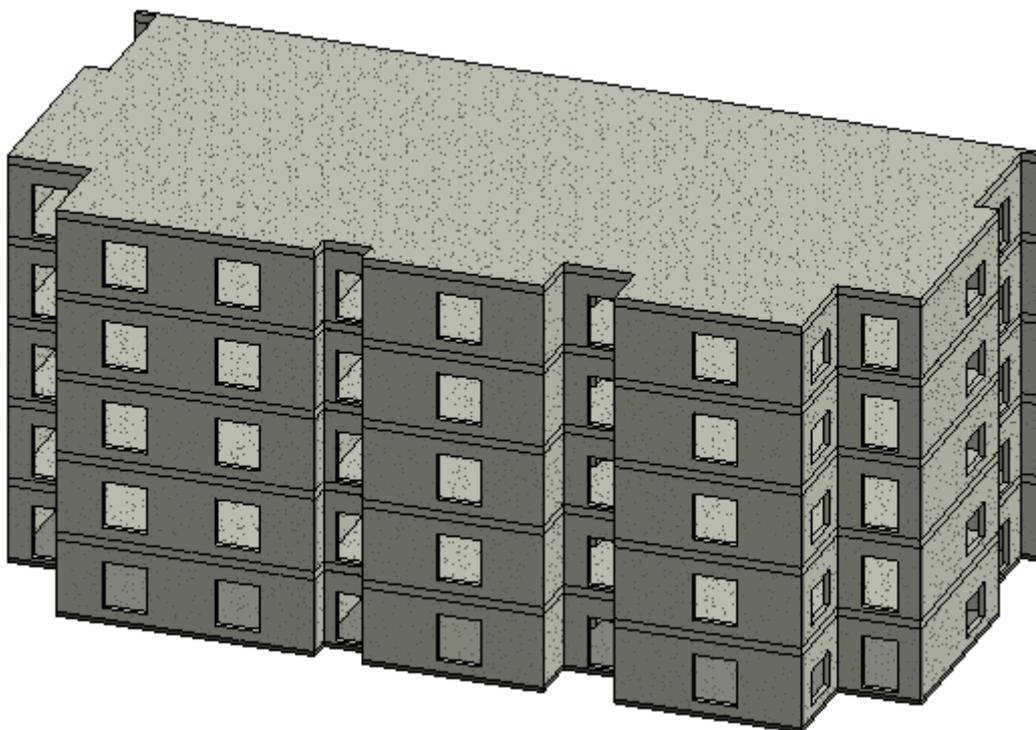
Als Nächstes werden die Wände des Erdgeschosses generiert. Dazu dient das bereits angelegte Raster als Orientierung. Die Wände können also problemlos an den gewünschten Stellen platziert werden.

Nachdem die verschiedenen Materialeigenschaften eingestellt wurden, konnte mit dem Einfügen der Fenster- und Türöffnungen begonnen werden.



**Abbildung 16: Fertiges Geschoss**

Anschließend wurde das Erdgeschoss kopiert und an der vorgesehenen Stelle platziert. Dadurch konnten sich wiederholende Konstruktionsschritte vermieden werden.



**Abbildung 17: Fertiges Modell - Revit**

Modelliert man in Revit Bauteile, wird zu jedem geometrischen das entsprechende analytische Modell automatisch erstellt. Wird das geometrische Modell verändert, passt sich das analytische Modell automatisch an. Es muss nichts manuell eingeben werden.

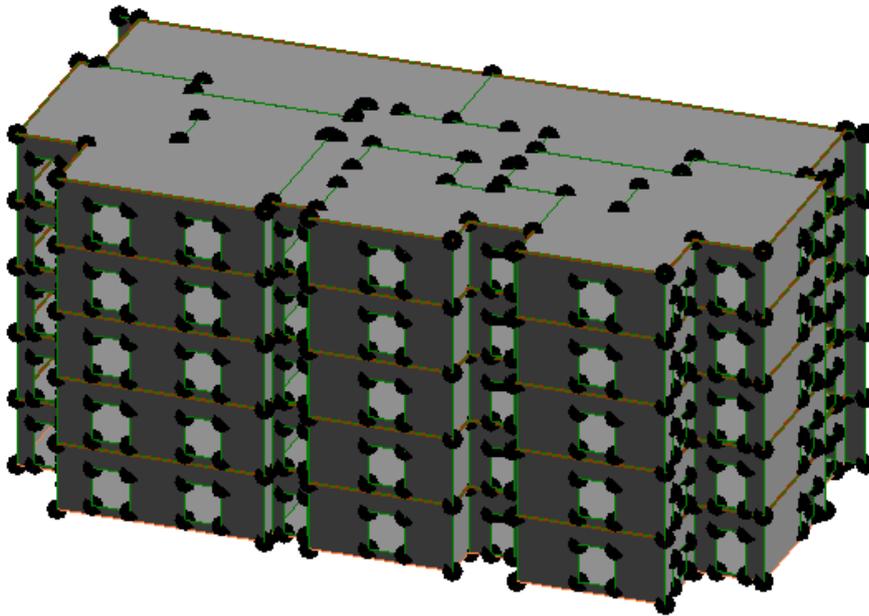


Abbildung 18: Analytisches Modell -Revit

In den Abbildungen 17 und 18 sind beide Modelle zu sehen. Dabei ist anzumerken, dass das analytische Modell im Vergleich zum geometrischen Modell in seinen Dimensionen reduziert ist.

### 6.5 Modellieren in RFEM - Stahltragwerk

Um ein weiteres Import- beziehungsweise Exportszenario zu untersuchen, wird ein Modell in RFEM angefertigt. Anschließend soll das Modell in Revit importiert werden. Dabei wird darauf eingegangen, was berücksichtigt werden muss, damit der Importvorgang fehlerlos abläuft.

Das Tragwerk soll aus mehreren Stäben und Flächenlagern bestehen. Zuerst werden die gewünschten Stäbe definiert. Dazu kann über die Querschnittsbibliothek der gewünschte Querschnitt für den Stabanfang bzw. das Stabende ausgesucht werden. RFEM stellt dem Nutzer eine Vielzahl von unterschiedlichen Querschnitten zur Verfügung. Die Querschnitte unterscheiden sich in Form und Material. Es gibt Holz-, Stahlbeton- und Stahlquerschnitte.



Abbildung 19: Querschnittsbibliothek - RFEM

Nachdem ein bestimmter Stab festgelegt wurde, kann mit dem Modellieren begonnen werden. Dazu kann auf verschiedene Arbeitsebenen zurückgegriffen werden. Diese Ebenen werden über das globale Koordinatensystem definiert. Stäbe werden erstellt, indem zwei Knoten an den gewünschten Stellen platziert werden. Das Programm generiert dann automatisch den Stab zwischen den Knoten.

Zuerst wird ein Stahlrahmen mit Flächenlagern modelliert. Dieser Stahlrahmen wird dann zweimal kopiert und mit weiteren Stäben verbunden.

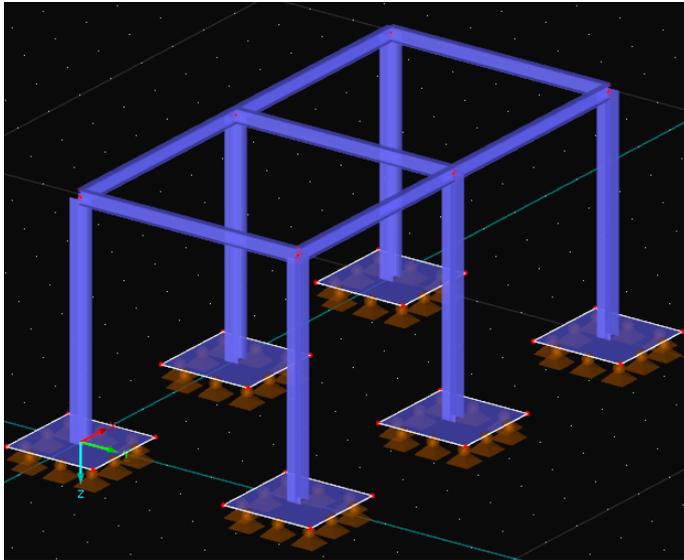


Abbildung 20: Stahltragwerk

## 6.6 Native RFEM-Revit Schnittstelle

Die Schnittstelle zwischen RFEM/RSTAB und Revit ist bidirektional und wird durch ein Plug-In zur Verfügung gestellt, das automatisch mit RFEM mitinstalliert wird. Es kann dann über eine Registerkarte aktiviert werden. Damit ist es möglich, ein in Revit erstelltes geometrisches Architekturmodell direkt in RFEM zu berechnen und zu dimensionieren. Genauso kann ein analytisches Modell aus RFEM in Revit weiter ausgearbeitet werden. Die Grundlage für RFEM bildet ein objektorientiertes Gebäudemodell. Revit basiert auf parametrischer Modellierung. So können komplette Objekte und nicht nur geometrische Informationen getauscht werden (Dlubal Software GmbH 2016).

Die Importergebnisse werden anhand von folgenden Kriterien beurteilt:

- Lässt sich eine Plausibilitätskontrolle durchführen?
- Kann die „Alles berechnen“-Funktion in RFEM prinzipiell benutzt werden?
- Entsprechen die Flächen der analytischen Modelle einander?

### Von Revit nach RFEM

Im Folgenden wird erläutert, wie ein Modell von Revit in RFEM importiert wird. Dabei wird die native Schnittstelle verwendet. Um den Übertragungsvorgang zu veranschaulichen, wird das Pandion Gardens Modell aus Revit exportiert und in RFEM importiert.

Vor dem Export- beziehungsweise Importvorgang muss darauf geachtet werden, dass das Berechnungsmodell aktiviert ist.

Allgemein (211) <span style="float: right;">Typ bearbeiten</span>	
<b>Abhängigkeiten</b> <span style="float: right;">^</span>	
Für Körper	<input type="checkbox"/>
<b>Tragwerk</b> <span style="float: right;">^</span>	
Berechnungsmodell aktivieren	<input checked="" type="checkbox"/>
Bewehrungsüberdeckung - Andere Flächen	Rebar Cover 1 <25 m...
<b>Abmessungen</b> <span style="float: right;">v</span>	
<b>ID-Daten</b> <span style="float: right;">^</span>	
Bild	
Kommentare	
Kennzeichen	
<b>Phasen</b> <span style="float: right;">^</span>	
Phase erstellt	New Construction
Phase abgebrochen	Keine

Abbildung 21: Eigenschaften - Fenster

Anschließend kann über die „Dlubal“-Registerkarte mit dem Export der Dateien begonnen werden. Dabei stehen folgende Optionen zur Verfügung:



Abbildung 22: Dlubal Registerkarte

Soll ein Modell exportiert werden, ist auf die entsprechende Schaltfläche zu klicken. Es erscheint das „Revit Structure-Dlubal Link“-Fenster. Dieses Fenster besteht aus zwei Registerkarten, in denen die verschiedenen Exportoptionen eingestellt werden können.

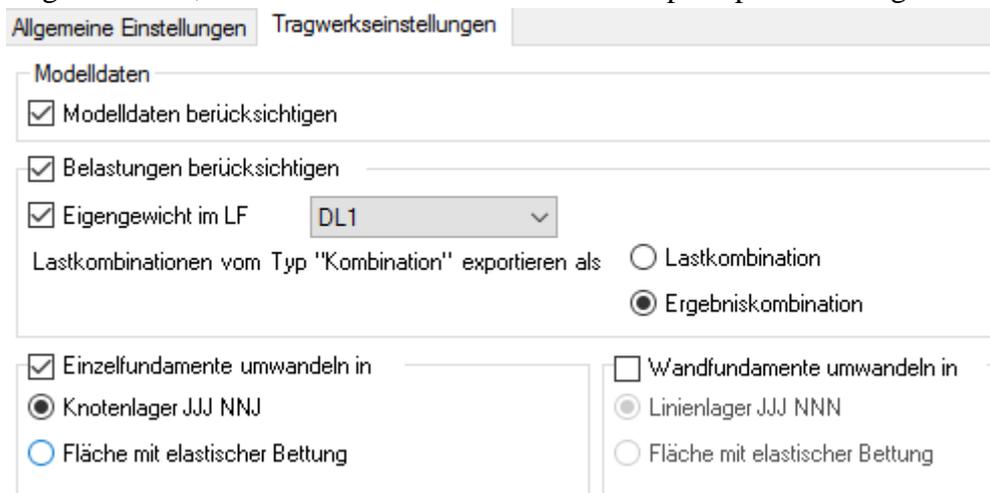


Abbildung 23: Revit Structure - Dlubal Link - Fenster

Zwei Einstellungsmöglichkeiten sollen genauer beschrieben werden. In der Registerkarte „Tragwerkseinstellungen“ gibt es die Option „Belastungen berücksichtigen“. Mit dieser Einstellung ist es möglich, beim Import in RFEM automatisch die Eigengewichtslasten für die Bauteile zu erzeugen. Somit muss dieser Lastfall nach dem Import in RFEM nicht manuell erzeugt werden. Es besteht die Möglichkeit, Einzelfundamente in Knotenlager oder elastisch gebettete Flächenlager umzuwandeln. Dasselbe gilt für Wandfundamente. Diese können in Linienlager oder in Flächenlager mit elastischer Bettung konvertiert werden.

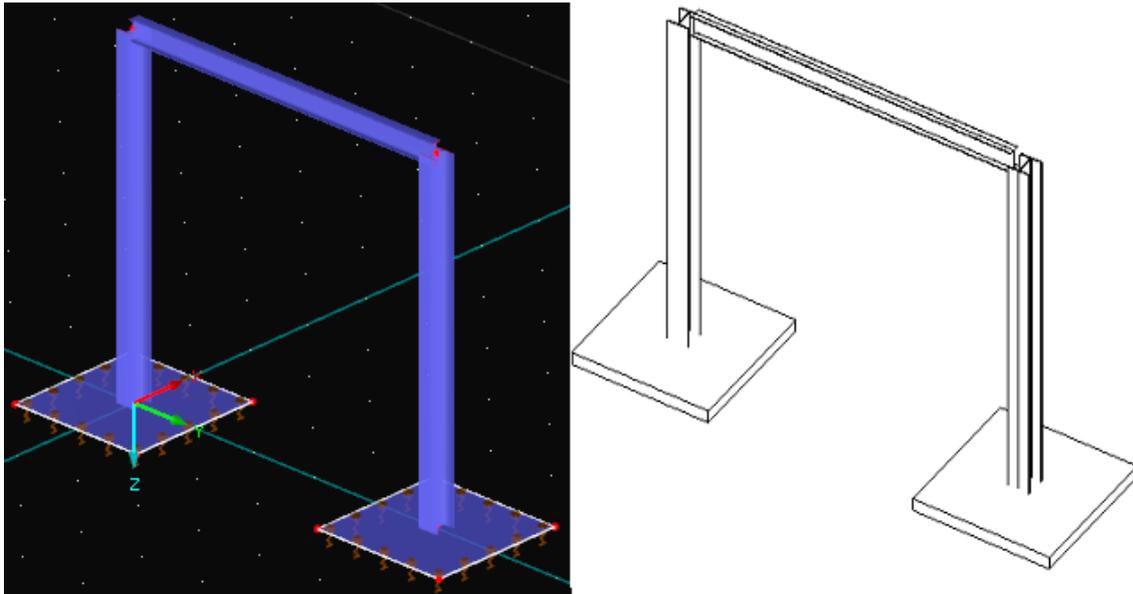


Abbildung 24: Vergleich von Lagerungen; links RFEM, rechts Revit

Abbildung 19 veranschaulicht, dass Einzelfundamente in Flächenlager umgewandelt werden können. Dabei wurde das rechte Modell in RFEM modelliert und anschließend über die native Schnittstelle in Revit importiert.

Nachdem man den Importvorgang initiiert hat, erscheint das „Exportieren in RFEM“-Fenster, mit dem alle Schritte des Exportvorgangs nachverfolgt werden können. Am Ende des Vorgangs öffnet RFEM automatisch das importierte Modell. Während des Importvorgangs kam es zu keinen Fehlermeldungen.

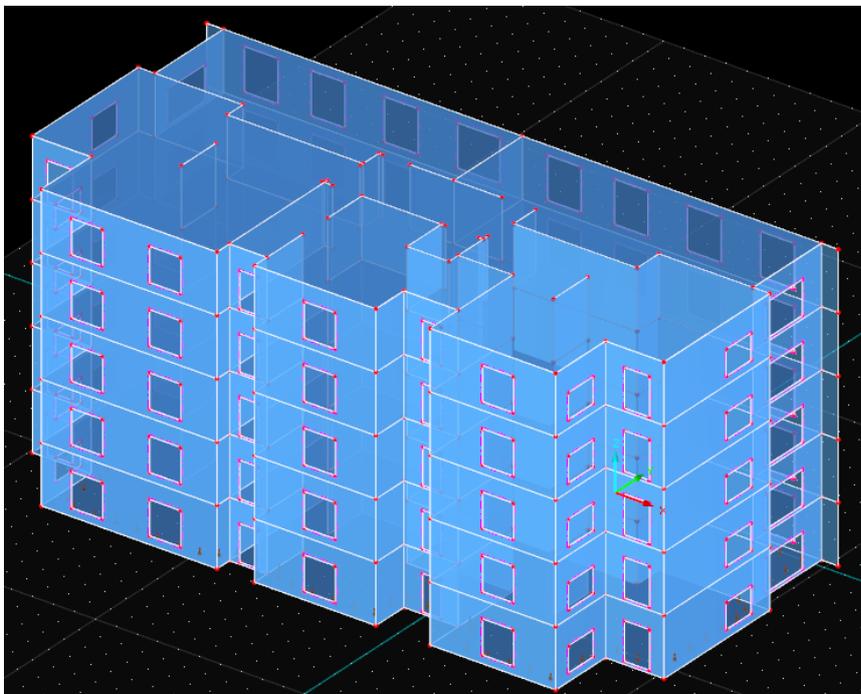


Abbildung 25: Analytisches Modell - RFEM

Das analytische Modell, das man in RFEM erhält, entspricht dem Berechnungsmodell aus Revit. Die einzelnen Flächen der Modelle haben dieselben Maße. Für Abbildung 26 wurde der gleiche Wandbereich in Revit und RFEM verglichen.

Fläche	17.120 m <sup>2</sup>	Fläche	Gewicht
		A [m <sup>2</sup> ]	G [kg]
		17.120	5916.52

Abbildung 26: Flächen Vergleich; links Revit, rechts RFEM

Mit der Funktion „Plausibilitätskontrolle“ kann in RFEM ein Modell auf Vollständigkeit überprüft werden. Wird diese durchgeführt, erhält man folgendes Ergebnis:

Die Daten wurden auf Plausibilität überprüft und es wurden keine Fehler festgestellt.

Info **Modell**daten Belastungsdaten

Modellabmessungen

Δx: 30.200 [m]  
 Δy: 14.400 [m]  
 Δz: 14.000 [m]

Modellmasse

Flächen: 1881390.00 [kg]  
 Volumina: 0.00 [kg]  
 Stäbe: 0.00 [kg]  
 Gesamt: 1881390.00 [kg]

Abbildung 27: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle - RFEM

Wie aus Abbildung 27 ersichtlich, hat man ein fehlerfreies Modell erhalten. Es ist nun möglich, eine Berechnung in RFEM durchzuführen.

Als Material für die Wände wurde „Concrete, Lightweight“ ausgewählt. Die Materialeigenschaften wurden während des Imports verändert. Diese können aber ohne größere Umstände angepasst werden.

▼ Einfach thermisch

Wärmeausdehnungskoeffizient 0,00001 inv °C

▼ Mechanisch

Verhalten Isotrop

Elastizitätsmodul (Young) 16.603,0 MPa  
 Poissonsche Zahl 0,20  
 Schubmodul 6.916,0 MPa  
 Dichte 1.762,03 kg/m<sup>3</sup>

▼ Beton

Betonkomprimierung 27,6 MPa  
 Schubfestigkeitsänderung 1,30  
 Optimiert  
 Streckspannung 2,8 MPa  
 Zugfestigkeit 2,8 MPa

Materialkennwerte

Elastizitätsmodul E: 5447.18 [kN/cm<sup>2</sup>]  
 Schubmodul G: 2269.03 [kN/cm<sup>2</sup>]  
 Querdehnzahl ν: 0.200 [-]  
 Spezifisches Gewicht γ: 17.28 [kN/m<sup>3</sup>]  
 Wärmehdehnzahl α: 1.0000E-05 [1/°C]  
 Teilsicherheitsbeiwert γ<sub>M</sub>: 1.66 [-]

Materialmodell

Isotrop linear elastisch

Kommentar

Concrete, Lightweight

Abbildung 28: Materialeigenschaften nach dem Import; links Revit, rechts RFEM

Da man ein vollständiges Modell erhalten hat, ist es möglich die „Alles berechnen“-Funktion zu benutzen. In dieser Arbeit wurden die Tragwerke erstellt, um den Datenaustausch zwischen Revit und RFEM zu untersuchen. Es wurde keine statische Analyse von Tragwerken gemacht. Abbildung 29 soll lediglich veranschaulichen, dass das importierte Modell in RFEM ohne Modifizierungen für eine statische Analyse verwendet werden könnte. Die Möglichkeit, die „Alles berechnen“-Funktion zu benutzen, soll in diesem Szenario ein Kriterium sein, um die Qualität des Importergebnisses beurteilen zu können.

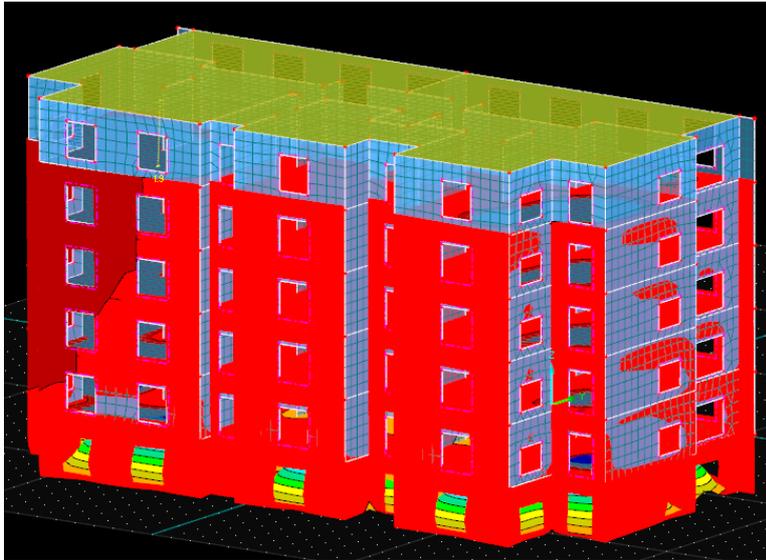


Abbildung 29: Visuelles Ergebnis FEM-Analyse- RFEM

### Von RFEM nach Revit

Damit beim Import in Revit keine Daten verloren gehen, müssen einige Vorbereitungen getroffen werden. Um für einen IPE 300 Stahlträger aus RFEM ein gleichwertiges Objekt in Revit zu erhalten, muss die entsprechende Inhaltsbibliothek installiert sein. Die hier verwendeten Bibliotheken heißen „Autodesk Revit Content Libraries 2016“.



Abbildung 30: Pfad der Inhaltsbibliothek

Bei einem ersten Versuch hat sich herausgestellt, dass es ohne diese Bibliotheken nicht möglich ist, für ein Objekt aus RFEM ein äquivalentes Revit-Objekt zu erhalten.

Um ein Tragwerksmodell aus RFEM in Revit zu importieren, müssen beide Programme gestartet werden. In RFEM muss das zu exportierende Modell geladen sein. Als Nächstes wird über die „Dlubal“-Registerkarte der Export initiiert. Es erscheint das bereits beschriebene „Revit Structure-Dlubal Link“-Fenster. Nachdem die gewünschten Einstellungen festgelegt wurden, kann mit dem Export begonnen werden. Während des Exportvorgangs müssen den Querschnitten aus RFEM Querschnittstypen in Revit zugeordnet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Informationen verloren gehen.

Nr.	RFEM-Querschnitt	An Stäben Nr.	Revit Type
	Beams and Braces		
1	IPE 300	2,5,8,10,11,12,13	
	Columns		
2	HEA 300	1,3,4,6,7,9	

Abbildung 31: Fenster über das sich die Querschnitte zuordnen lassen - Revit

Nach dem Exportvorgang kann das Modell in Revit bearbeitet werden.

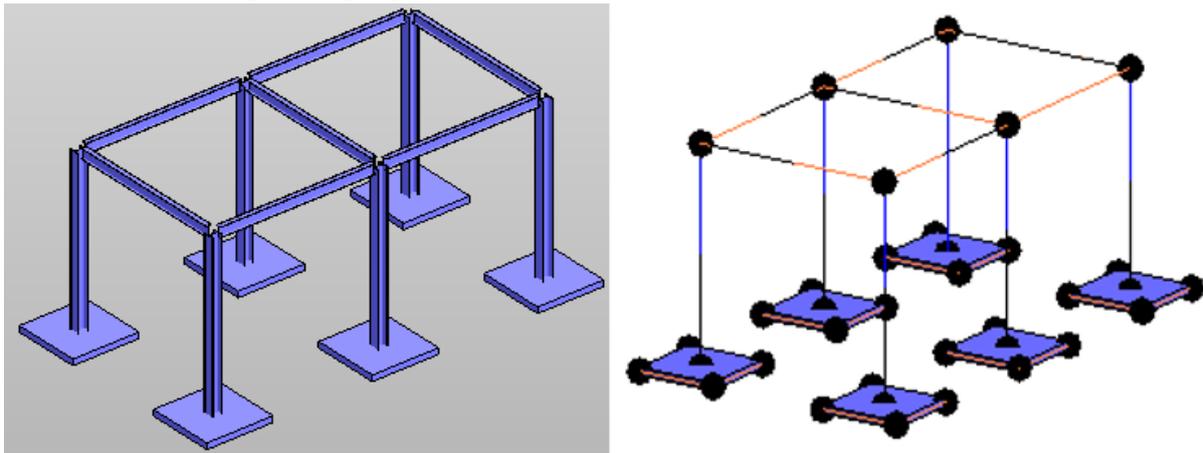


Abbildung 32: Importergebnis; links geometrisches Modell, rechts analytisches Modell - Revit

Der Datenaustausch von RFEM nach Revit funktioniert problemlos, wenn man über die benötigten Inhaltsbibliotheken verfügt. Es ist also nicht nur möglich, Volumenmodelle auszutauschen, vielmehr können auch Bauteilgruppen ausgetauscht werden.

## 6.7 IFC Schnittstelle

### Pandion Gardens

Soll ein Revit Modell als IFC-Datei exportiert werden, muss zuerst das gewünschte Modell geöffnet werden. Anschließend kann über die „IFC exportieren“-Funktion das Modell exportiert werden. Während des Exports des Pandion Gardens Modells kam es zur folgenden Fehlermeldung:

Anmerkung: Die Dlubal-Anwendungen als analytische Software unterstützen nur limitierte Typen von physikalischen Elementen. Bei Stäben wird nur die Darstellung 'SweptSolid' unterstützt. Diese dürfen nicht durch Begrenzungslinien definiert sein, sondern durch Querschnitte. Um bessere Ergebnisse zu erzielen, exportieren Sie bitte, falls möglich, das analytische Modell Ihrer Position und versuchen Sie den Import erneut.

Abbildung 33: Import Fehlermeldung - RFEM

Das Modell aus RFEM ist nicht korrekt übertragen worden. Die Wände und Bodenbeziehungsweise Deckenplatten sind nicht mehr miteinander verbunden. Dadurch wurden die Abmessungen der verschiedenen Bauteile verfälscht.

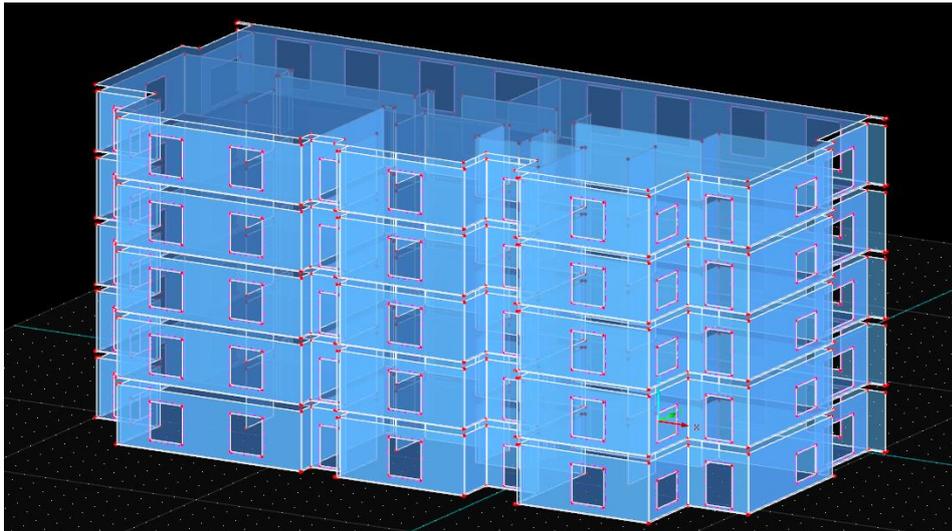


Abbildung 34: Analytisches Modell - RFEM

Führt man eine Plausibilitätskontrolle durch, erhält man folgenden Hinweis:

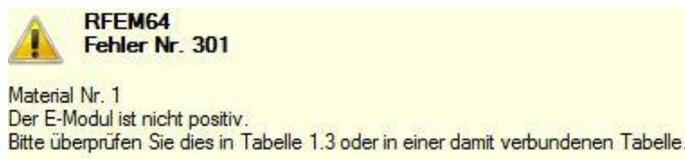


Abbildung 35: Ergebnis Plausibilitätskontrolle – RFEM

Die Plausibilitätskontrolle wird abgebrochen.

Die Materialeigenschaften der Wände und Platten wurden nicht übernommen.

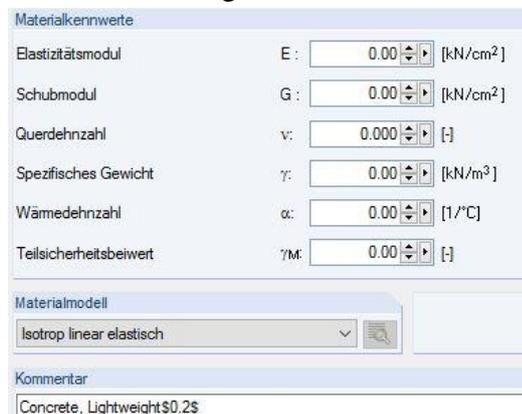


Abbildung 36: Materialeigenschaften nach Import – RFEM

Das Ergebnis des Imports ist nicht befriedigend. Die „Alles berechnen“-Funktion kann nicht benutzt werden. Um ein besseres Resultat zu erhalten, muss das Modell umfassend in Revit angepasst werden. Es sei angemerkt, dass die hier beschriebenen Änderungen nur eine von vielen Möglichkeiten darstellen, um ein besseres Exportergebnis zu erhalten. Damit der Arbeitsaufwand gering bleibt, werden alle Veränderungen nur an einem Geschoss vorgenommen. Dieses Geschoss wird dann in RFEM importiert und dort fertigmodelliert. Als erstes werden alle nicht tragenden Wände und irrelevanten Details aus dem Modell in Revit entfernt.

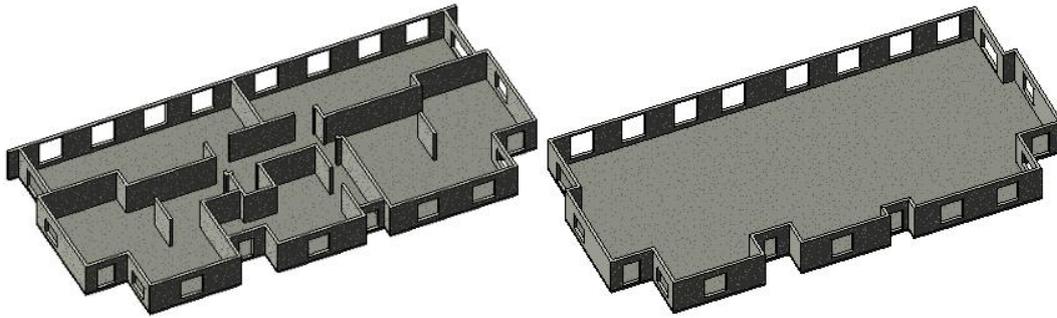


Abbildung 37: links Geschoss vor Umbau, rechts Geschoss nach Umbau

Anschließend wird die Art der Wandverbindungen von Stumpf auf Gehrung geändert. Nach dem Import in RFEM sind die Wände miteinander verbunden.

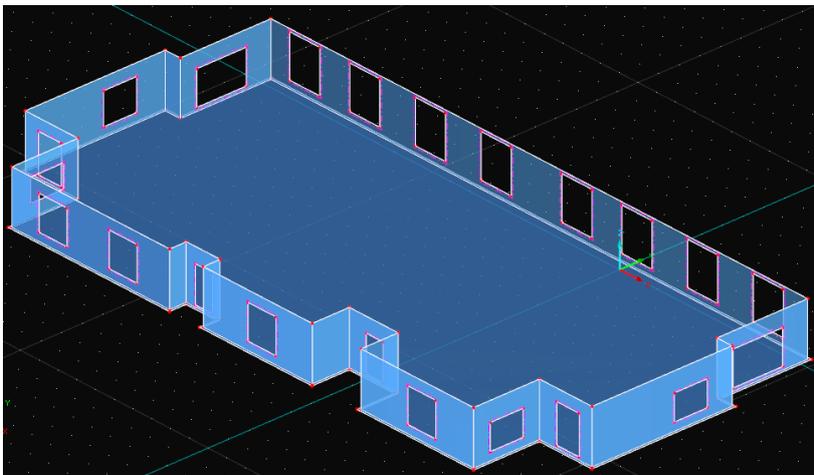


Abbildung 38: Importergebnis angepasstes Modell

Die Decken- beziehungsweise Bodenplattenknoten müssen manuell mit den Wandknoten zusammengefügt werden. Da die Wände nicht die richtige Höhe haben, muss die korrekte Wandhöhe eingegeben werden. Dazu muss jedem Knoten in der Knotentabelle der gewünschte Wert zugewiesen werden. Im nächsten Schritt werden in der Materialtabelle die richtigen Materialdaten eingeben.

Materialkennwerte	
Elastizitätsmodul	E : 5447.18 [kN/cm <sup>2</sup> ]
Schubmodul	G : 2269.03 [kN/cm <sup>2</sup> ]
Querdehnzahl	ν : 0.200 [-]
Spezifisches Gewicht	γ : 17.28 [kN/m <sup>3</sup> ]
Wärmedehnzahl	α : 0.00 [1/°C]
Teilsicherheitsbeiwert	γ <sub>M</sub> : 1.66 [-]
Materialmodell	
Isotrop linear elastisch	
Kommentar	
Concrete, Lightweight\$0.2\$	

Abbildung 39: Materialeigenschaften

Um das Modell zu vollenden, wird das Geschoss viermal kopiert und aufeinander gesetzt. Der Fundamentplatte wird ein Flächenlager hinzugefügt. Diese Veränderungen werden als RFEM Datei gespeichert.

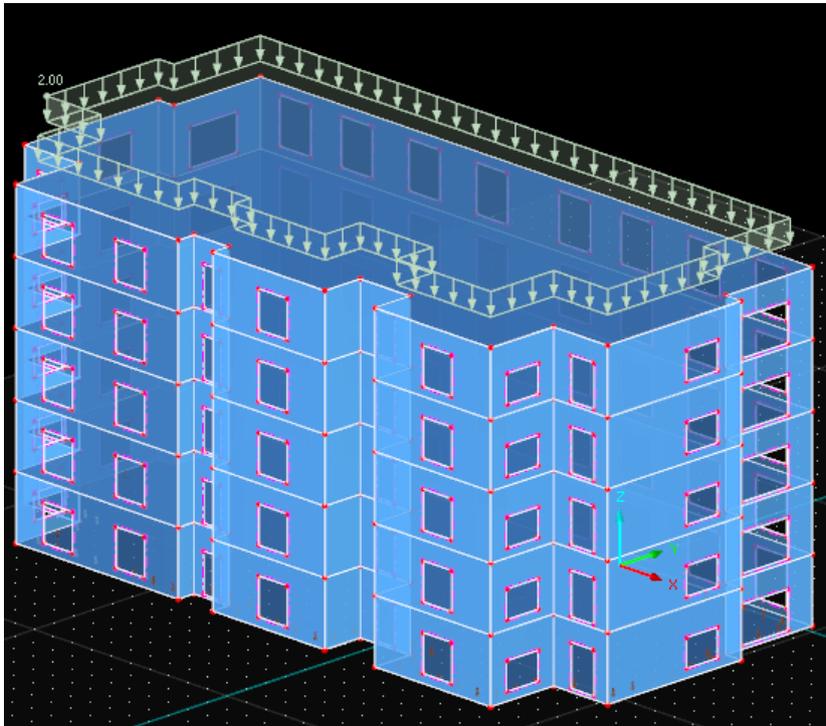


Abbildung 40: Fertiges analytisches RFEM Modell

Führt man jetzt eine Plausibilitätskontrolle durch, erhält man keine Fehlermeldung mehr. Die „Alles berechnen“-Funktion lässt sich ebenfalls benutzen.

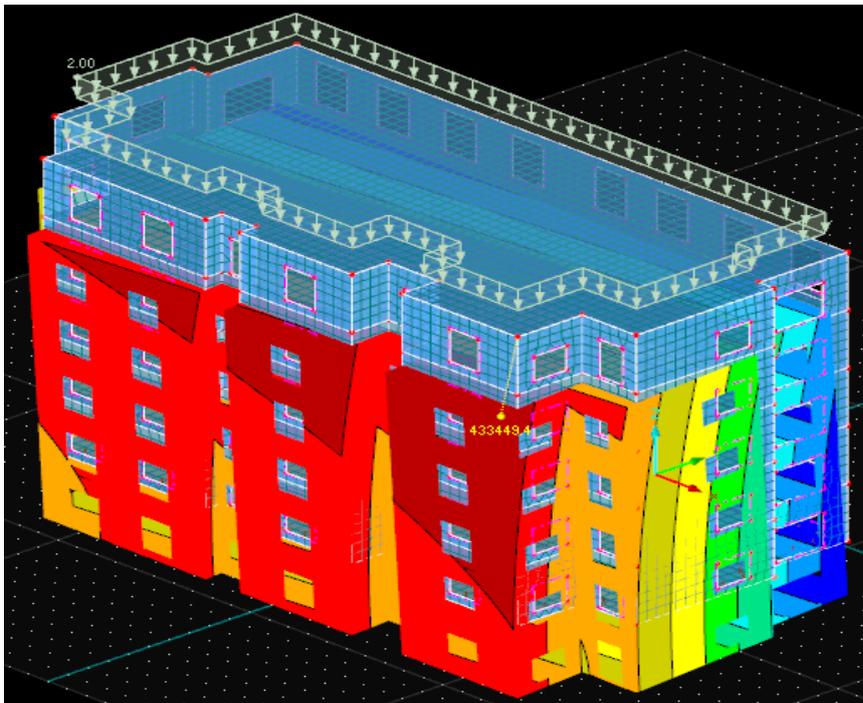


Abbildung 41: Visuelles Ergebnis FEM-Analyse – RFEM:

Vergleicht man die Importergebnisse der nativen Schnittstelle mit der IFC-Schnittstelle,

werden einige Unterschiede deutlich. Beim Import über die IFC-Schnittstelle wurden keine Materialdaten übertragen. Sie mussten Manuell eingegeben werden. Die Plausibilitätskontrolle wurde abgebrochen. Erst nachdem das Modell modifiziert wurde, konnte diese durchgeführt werden. Die „Alles berechnen“-Funktion konnte erst nach den Modifikationen benutzt werden. Die geometrischen Abmessungen stimmten nicht mit dem Originalmodell überein. Die native Schnittstelle hingegen lieferte ein Modell, das direkt die Plausibilitätskontrolle absolvieren konnte und bei dem die „Alles berechnen“- Funktion benutzt werden konnte. Die Abmessungen der einzelnen Flächen entsprachen dem analytischen Modell aus Revit.

Die ersten Versuche, Modelle zwischen Revit und RFEM auszutauschen, waren nicht sehr erfolgreich. In einem langwierigen Prozess musste herausgefunden werden, wie ein Modell zu konstruieren ist, um ein brauchbares Ergebnis zu erhalten. Zudem war es zwischenzeitlich nicht mehr möglich, Modelle im IFC-Datenformat zu speichern. Wurde ein Modell erstellt und anschließend gespeichert, war es nach dem Öffnen der Datei nicht mehr vorhanden. Die Datei war leer und nur einige Kilobyte groß. Die Neuinstallation der beiden Programme konnte das Problem nicht lösen. Erst nach Neuinstallation des Betriebssystems war es möglich, Modelle im IFC-Datenformat zu erstellen.

## 7. Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen dieser Bachelor Arbeit wurden die offenen und geschlossenen Schnittstellen in der BIM-basierten Tragwerksplanung untersucht. Es wurde ein Massivbautragwerk in Revit und ein Stahltragwerk in RFEM modelliert. Der Massivbau wurde mithilfe der nativen und der IFC-Schnittstelle in RFEM importiert. Das Stahltragwerk wurde in Revit über die native Schnittstelle importiert, um zu zeigen, dass komplette Bauteile zwischen den beiden Programmen ausgetauscht werden können.

Die native Revit-RFEM-Schnittstelle funktioniert gut. Die erstellten Modelle wurden fehlerfrei übertragen. In RFEM konnte ohne Bearbeitung der Modelle die Berechnungsfunktion benutzt werden. Die geometrischen Abmessungen wurden richtig übermittelt. Bei den physikalischen Eigenschaften mussten nur kleine Änderungen vorgenommen werden. Die IFC-Schnittstelle ist im Vergleich zur nativen Schnittstelle fehleranfälliger. Die Ergebnisse der ersten Versuche, der Datenübertragung mittels IFC, waren nicht befriedigend. Es kam zum Datenverlust und es wurden Daten verfälscht. Um ein besseres Resultat zu erhalten, musste das Modell umfassend geändert werden. Daraus ergab sich ein höherer Zeitaufwand, da das Modell fast neu modelliert werden musste. Außerdem wurden weder die geometrischen Abmessungen noch die Materialeigenschaften korrekt übertragen und mussten deshalb manuell angepasst werden. Vergleicht man die beiden Schnittstellen, steht außer Frage, welche davon die bessere Option darstellt. Da die native Schnittstelle verwendbare Ergebnisse liefert, sollte sie der IFC-Schnittstelle vorgezogen werden. Interessant ist die Tatsache, dass Autodesk und Dlubal in Kooperation die Schnittstelle entwickelt haben. Damit haben sie die Interoperabilität von Revit und RFEM sichergestellt. Gleichzeitig wurde aber die IFC-Schnittstelle vernachlässigt. Es ist deutlich geworden, dass weitere Informationen zum Datenaustausch mit dem IFC-Format benötigt werden. Zwar gibt es von beiden Herstellern Hinweise, doch diese sind zu allgemein gefasst. Ein aktueller Leitfaden der einzelnen Software-Hersteller für den Datenaustausch mittels IFC wäre für Anwender hilfreich. Da das Bauwesen ein sehr fragmentierter Wirtschaftszweig ist, ist ein offenes Datenformat elementar für BIM und sollte von den Softwareherstellern ernst genommen werden. Es hat sich gezeigt, dass in Kooperation der Entwickler die Interoperabilität zweier Softwareprodukte erreicht werden kann. Diese Bemühungen sollten in die Verbesserung der IFC-Schnittstelle fließen, dadurch würden sie Building Information Modeling direkt fördern. Was wiederum dazu führen würde, dass sich der Bedarf an BIM-Software erhöht und sich den Herstellern größere Umsatzpotentiale erschließen.

Building Information Modeling ist eine innovative Planungsmethode. Für Studenten des Bauingenieurwesens, Fachplaner und Bauunternehmen ist es unerlässlich, sich mit BIM auseinanderzusetzen. Zwar hat sich die BIM-Planung in Deutschland noch nicht durchgesetzt, im Ausland wird sie jedoch schon seit längerem und in größerem Ausmaß praktiziert (Egger et al. 2013). Um den Anschluss an andere Länder nicht zu verlieren, sollte weiter an der Akzeptanz in Deutschland gearbeitet werden, denn es steht außer Frage, dass BIM die Zukunft des Planens bedeutet. Dabei stehen die bereits erwähnten Gruppen und der öffentliche Bauherr in der Verantwortung. Studenten sollten sich während des Studiums mit

BIM befassen und entsprechende Angebote der Universitäten nutzen. Fachplaner müssen sich mit den BIM-Werkzeugen und den neuen Arbeitsabläufen vertraut machen, um effizienter arbeiten zu können. Bauunternehmen sollten Schritt für Schritt auf eine BIM-unterstützte Planung umstellen, damit interne Arbeitsprozesse optimiert werden können und die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert wird.

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Modellstruktur (OBERMEYER Planen + Beraten GmbH 2014 )</i> .....	6
<i>Abbildung 2: Aufwandsverlagerung (Liebich et al. 2011)</i> .....	8
<i>Abbildung 3: Geometrisches und analytisches Modell.</i> .....	12
<i>Abbildung 4: Prinzip der BREP Datenstruktur (Borrmann et al. 2015)</i> .....	14
<i>Abbildung 5: Prinzip des CSG-Verfahrens (Borrmann et al. 2015)</i> .....	15
<i>Abbildung 6: Parametrik in Revit</i> .....	16
<i>Abbildung 7: FEM-Netz einer Wand mit Öffnung - RFEM</i> .....	18
<i>Abbildung 8: Reifegradstufen von BIM (Borrmann et al. 2015)</i> .....	20
<i>Abbildung 9: Aufbau des IFC-Modells (Borrmann et al. 2015)</i> .....	22
<i>Abbildung 10: Objektbeziehungen (Borrmann et al. 2015)</i> .....	23
<i>Abbildung 11: Wand mit Öffnung (Revit)</i> .....	23
<i>Abbildung 12: Structural Analysis Model View ( Lehtinen et al. 2012)</i> .....	24
<i>Abbildung 13: Höhenlinien - Frontansicht</i> .....	27
<i>Abbildung 14: Raster - Draufsicht</i> .....	28
<i>Abbildung 15: Bodenplatte</i> .....	28
<i>Abbildung 16: Fertiges Geschoss</i> .....	29
<i>Abbildung 17: Fertiges Modell - Revit</i> .....	29
<i>Abbildung 18: Analytisches Modell -Revit</i> .....	30
<i>Abbildung 19: Querschnittsbibliothek - RFEM</i> .....	31
<i>Abbildung 20: Stahltragwerk</i> .....	31
<i>Abbildung 21: Eigenschaften - Fenster</i> .....	32
<i>Abbildung 22: Dlubal Registerkarte</i> .....	33
<i>Abbildung 23: Revit Structure - Dlubal Link - Fenster</i> .....	33
<i>Abbildung 24: Vergleich von Lagerungen; links RFEM, rechts Revit</i> .....	34
<i>Abbildung 25: Analytisches Modell - RFEM</i> .....	34
<i>Abbildung 26: Flächen Vergleich; links Revit, rechts RFEM</i> .....	35
<i>Abbildung 27: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle - RFEM</i> .....	35
<i>Abbildung 28: Materialeigenschaften nach dem Import; links Revit, rechts RFEM</i> .....	35
<i>Abbildung 29: Visuelles Ergebnis FEM-Analyse- RFEM</i> .....	36
<i>Abbildung 30: Pfad der Inhaltsbibliothek</i> .....	36
<i>Abbildung 31: Fenster über das sich die Querschnitte zuordnen lassen - Revit</i> .....	37
<i>Abbildung 32: Importergebnis; links geom. Modell, rechts analytisches Modell - Revit</i> .....	37
<i>Abbildung 33: Import Fehlermeldung - RFEM</i> .....	37
<i>Abbildung 34: Analytisches Modell - RFEM</i> .....	38
<i>Abbildung 35: Ergebnis Plausibilitätskontrolle – RFEM</i> .....	38
<i>Abbildung 36: Materialeigenschaften nach Import – RFEM</i> .....	38
<i>Abbildung 37: links Geschoss vor Umbau, rechts Geschoss nach Umbau</i> .....	39
<i>Abbildung 38: Importergebnis angepasstes Modell</i> .....	39
<i>Abbildung 39: Materialeigenschaften</i> .....	39
<i>Abbildung 40: Fertiges analytisches RFEM Modell</i> .....	40
<i>Abbildung 41: Visuelles Ergebnis FEM-Analyse – RFEM:</i> .....	40

## **Anhang**

### **Compact Disc**

Auf der beigefügten Compact Disc sind folgende Datenenthalten:

- Der schriftliche Teil der Arbeit als Worddokument und PDF
- Die Daten des Projektes

## Literaturverzeichnis

**Albrecht, M. (2014):** Building Information Modeling (BIM) in der Planung von Bauleistungen: Disserta Verlag.

**Autodesk GmbH (2016):** Online verfügbar unter <http://www.autodesk.de/products/revit-family/overview>, zuletzt aktualisiert am 20.03.2016, zuletzt geprüft am 20.03.2016.

Beziehungen für die parametrische Modellierung in Revit | Autodesk Knowledge Network. Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit-lt/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/DEU/RevitLT-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2016.

Company Story. Online verfügbar unter <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?id=12012348&siteID=123112>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2016, zuletzt geprüft am 20.03.2016.

**Barth, Christian; Rustler, Walter (2010):** Finite Elemente in der Baustatik-Praxis. Mit vielen Anwendungsbeispielen. 1. Aufl. Berlin: Bauwerk.

**Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hg.) (2015):** Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg (VDI-Buch).

**buildingSMART (2016):** Online verfügbar unter <http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/faq/faq-general-questions>, zuletzt geprüft am 14.12.2015.

**Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015):** Building Information Modeling (BIM) wird bis 2020 stufenweise eingeführt. BMVI. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2015/152-dobrindt-stufenplan-bim.html>, zuletzt geprüft am 09.03.2016.

**Dlupal Software GmbH (2016):** Dlupal Produkte. Online verfügbar unter <https://www.dlupal.com/de/produkte-gliederung.aspx>, zuletzt geprüft am 14.01.2016.

Historie und Zahlen. Online verfügbar unter <https://www.dlupal.com/de/unternehmen/ueberuns/historie-und-zahlen>, zuletzt geprüft am 20.03.2016.

Integration RFEM und Autodesk Revit Structure - Dlupal Software. Online verfügbar unter <https://www.dlupal.com/de/integration-rfem-und-autodesk-revit-structure.aspx>, zuletzt geprüft am 20.03.2016.

Normen. Online verfügbar unter <https://www.dlupal.com/de/internationale-normen.aspx>, zuletzt geprüft am 20.03.2016.

**Eastman, Charles M. (2011):** BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley.

**Egger et al. 2013:** BIM-Leitfaden für Deutschland.

**Klaus Heinlein et al. ,HOAI 2013:** Online verfügbar unter [http://www.hoai.de/online/HOAI\\_2013/HOAI\\_2013.php#P49](http://www.hoai.de/online/HOAI_2013/HOAI_2013.php#P49), zuletzt geprüft am 25.01.2016.

**Lehtinen et al. 2012:** Structural Design to Structural Analysis. Online verfügbar unter [http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/view-definitions/structural-analysis-view/StructuralAnalysisView\\_Overview.pdf](http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/view-definitions/structural-analysis-view/StructuralAnalysisView_Overview.pdf), zuletzt geprüft am 01.02.2016.

**Stiftung Deutsches Historisches Museum (2016):** Online verfügbar unter <https://www.dhm.de/lemo/biografie/konrad-zuse>, zuletzt geprüft am 29.03.2016.