



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

# Analyse des modellgestützten Datenaustausches anhand der Modellierung eines Gebäudes der TU München mit Revit 2015

**Albert Maximilian Meier**

Bachelorthesis

für den Bachelor of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor: Albert Maximilian Meier  
1.Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann  
2.Betreuer: Fabian Ritter, M.Sc.

Ausgabedatum: 15.07.2014

Abgabedatum: 11.12.2014

## Kurzfassung

Die Bauplanung hat in den letzten Jahren einen raschen Wandel durchlaufen. BIM ist in aller Munde. In der folgenden Arbeit wird ein grober Überblick über die Entwicklung der Bauplanung seit dem späten Mittelalter gegeben. Ein Ziel dabei ist es, die aktuellen Möglichkeiten der Planung mit BIM Software darzustellen. Hierbei geht es in erster Linie um die Software Revit 2015 von Autodesk, welche anhand eines ausführlichen Beispiels erläutert wird, aber auch um einen kurzen Überblick über alternative Softwarelösungen am Markt. Das Beispiel zeigt die Modellierung eines dreidimensionalen Gebäudemodells des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München in Garching. Anhand des Beispiels werden verschiedene Funktionen eines modernen CAD-Programms erklärt und illustriert. Des Weiteren werden diverse Verfahren zum Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Projekten mit demselben Programm und sogar zwischen unterschiedlichen Programmen gezeigt. Hierbei werden diese Verfahren zuerst allgemein dargestellt und anschließend an Beispielen konkretisiert. Den Abschluss dieser Arbeit bildet ein Ausblick auf die Bauplanung der Zukunft und die Weiterentwicklung von BIM.

## **Abstract**

The building design has passed through a rapid change in recent years. BIM is on everyone's lips. In the following paper a broad overview of the development of building design since the late Middle Ages is given. On today's scope of planning with BIM software special attention is paid. This involves primarily the software Revit 2015 from Autodesk, which is illustrated by a detailed example, but it also includes a brief overview of alternative software solutions available on the market. The example demonstrates the modeling of a three dimensional building model of the building of the Faculty of Mechanical Engineering at the Technical University of Munich in Garching. In this example various functions of a modern CAD program are explained and illustrated. Furthermore, different methods are shown for data exchange between different projects with the same program and even between different programs. This procedures are first shown in general and then concretized by examples. The conclusion of this thesis is an outlook on the construction planning of the future and the development of BIM.

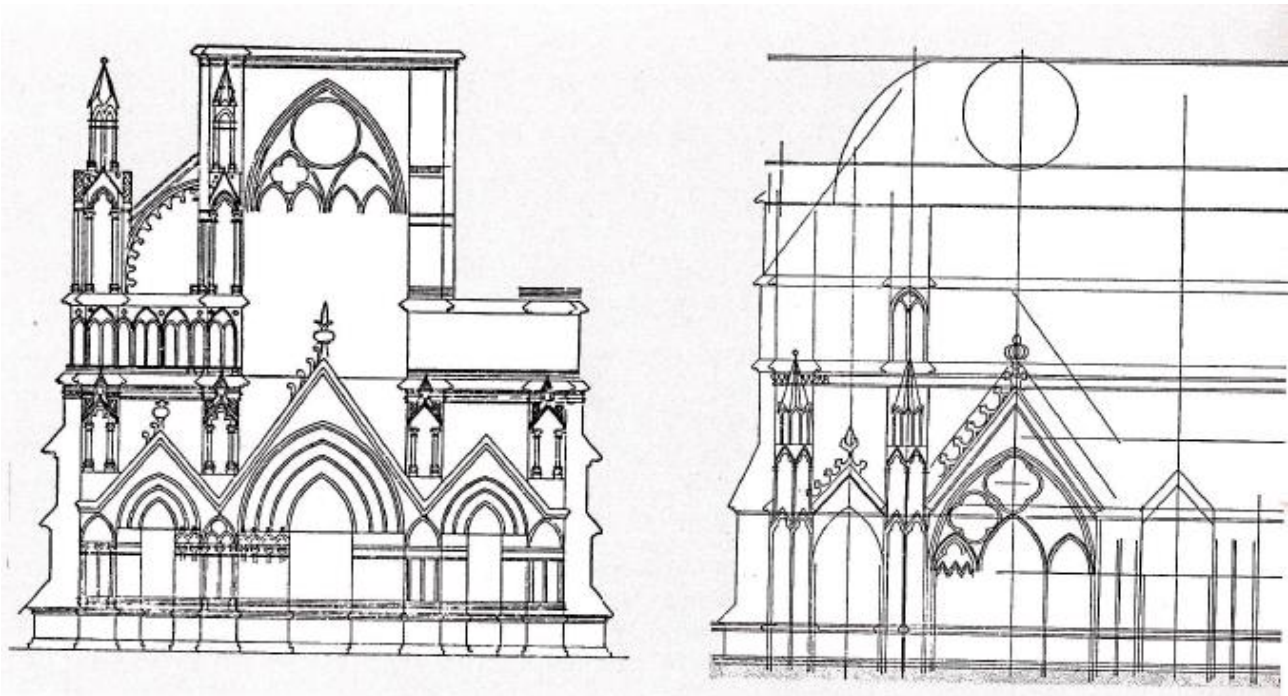
## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	BIM – Building Information Modeling .....	7
2.1	Möglichkeiten des Datenaustausches .....	10
2.2	Software .....	12
2.2.1	Autodesk Revit .....	12
2.2.2	Überblick über andere Wettbewerber am Markt.....	16
3	Das Projekt Maschinenwesen.....	22
3.1	Ausgangssituation .....	24
3.2	Vorgehen bei der Modellierung.....	27
3.3	Verwendete Funktionen.....	36
3.4	Renderings.....	42
3.5	Bekannte Ungenauigkeiten und mögliche Abhilfe.....	45
3.6	Datenaustausch am Beispiel Maschinenwesen .....	47
4	Ausblick in die Zukunft des Planens .....	49
5	Literaturverzeichnis .....	51
6	Anhang.....	53
6.1	Anhang A - CD .....	53
6.2	Anhang B – Renderings .....	54

## 1 Einleitung

Das Bauwesen als eine der ältesten Ingenieursdisziplinen hat eine Jahrtausende alte Geschichte. Vom Wohnbarmachen der ersten Höhlen ca. 400.000 v.Chr. über die großartigen Bauwerken der Antike, sowie dem Kirchenbau im Mittelalter bis zu aktuellen Bauprojekten haben sich die Technik, das Wissen und natürlich auch die Materialien deutlich weiterentwickelt. Aktuelle Beispiele für die bautechnischen Möglichkeiten sind das „Burj Khalifa“ in Dubai mit 828m Höhe, das schon alleine durch die gigantischen Ausmaße beeindruckt, oder das Plusenergiehaus „DynaHaus“, welches nicht durch Größe sondern durch unglaubliche Effizienz überzeugen wird. Das „DynaHaus“ entsteht seit Juni 2014 in Hallbergmoos und wird neben der Energie zur Selbstversorgung auch noch genügend Energie zur Versorgung eines Elektroautos produzieren.

Nicht nur die Fähigkeiten immer beeindruckendere Bauwerke zu errichten, sind im Laufe der Jahrhunderte gewachsen. Im selben Maße sind auch die Anforderungen, einerseits an die Ausbildung der Baumeister bzw. Ingenieure und Architekten, andererseits an die Planung und Darstellung von Bauwerken gestiegen. So war es im 13 Jhd. noch Usus die Erfahrung und das Wissen zum Bau von Kirchen oder Burgen mündlich vom Meister an den Lehrling weiterzugeben. Um zu verstehen, warum es in dieser Epoche noch kein Studium der Ingenieurwissenschaften wie wir es heute kennen gab, muss man sich verschiedene Fakten vor Augen führen. Zum einen hatten „*[i]n der mittelalterlichen, scholastischen Wissenschaft [...] technische Fragen keinen Platz. Alle Wissenschaft war letztlich theologisch begründet. [...] Der mittelalterliche Theologe oder Philosoph interessierte sich nicht für technische Einzelheiten. Es wäre auch unter seiner Würde gewesen, sich mit solchen Fragen abzugeben, denn das Bauen zählte im Mittelalter zu den artes mechanicae, also zu den körperlich-manuellen Tätigkeiten.*“ (Holzer, 2004) Auf der anderen Seite hätte eine akademische Ausbildung auch zeitlich nicht in den Ablauf einer mittelalterlichen Lehre gepasst. Ein Steinmetz begann seine 4-5 jährige Lehre ungefähr mit 14 Jahren bei einem Meister. Nach der obligatorischen einjährigen Wanderzeit, musste der Geselle weitere zwei Jahre Ausbildung hinter sich bringen, bevor er selbst den Meistergrad erreichte. Nach etlichen Meisterjahren konnte es dann ein Steinmetz zum leitenden Werkmeister einer großen Kirchenbaustelle bringen, was unserem heutigen Verständnis eines Ingenieurs oder Architekten recht nahe kommt. Erst im Jahr 1736 wurde in Wien die erste Ingenieursschule gegründet. Bis man den Titel Diplom-Ingenieur bzw. Doktor-Ingenieur erreichen konnte, dauerte es in Bayern noch bis ins Jahr 1901. Im 20 Jhd. hat sich die akademische Ausbildung immer mehr zu einem teils stark theoretischen, weit von der ursprünglichen „ars mechanica“ entfernten Studium entwickelt. Die Anwendung von moderner EDV gewinnt neben den mathematisch-technischen Grundlagen eine immer zentralere Rolle im Ingenieursstudium.



**Abbildung 1: Reimser Palimpseste (Binding, Bauen im Mittelalter, 2010, S. 42)**

Diese Entwicklung spiegelt sich auch in der Entstehung immer neuer Darstellungs- und Planungsmöglichkeiten wieder. Die ältesten erhaltenen Baupläne, die Reimser Palimpseste (Abbildung 1) lassen sich auf 1250/60 datieren. Über diese findet man folgende Aussage: *„Die ersten in der Kunstgeschichte geführten maßstäblich verkleinerten Baupläne sind somit Aufrißpläne, keine Grundrißpläne, und im eigentlichen Sinne auch keine Baupläne, nach denen gebaut wurde, sondern eher Planungsprotokolle.“* (Helten, 2005) Auch aus anderen Quellen lässt sich nachweisen, dass ab der Mitte des 13. Jhd. Baumeister an unterschiedlichen Orten gleichzeitig tätig waren. Daraus lässt sich wiederum folgern, dass Bauzeichnungen und Pläne vorhanden gewesen sein müssen, um den Baubetrieb auch in Abwesenheit des Meisters aufrecht zu erhalten. (Binding, Baubetrieb im Mittelalter, 1993) Alle Pläne und Risse zu dieser Zeit waren in erster Linie dazu gedacht, die Vorstellungen des Baumeisters gegenüber dem Bauherrn zu verdeutlichen. Der italienische Architekt Filarete schreibt 1464 über die Planungsabläufe folgendes: *„Der Bauherr überträgt nämlich seinen Gedanken auf den Baumeister; dieser nimmt ihn auf und entwickelt ihn bei sich wie eine Frau das empfangene Kind, monatelang; und gleich wie die Frau endlich gebiert, so bringt auch er den Bagedanken, und zwar in Form eines Holzmodelles, zur Welt.“* (Durm, 1914)

Das Prinzip, die Gedanken des Planers dem Bauherrn durch Modelle, Pläne und Ansichten begreifbar zu machen und anschließend für die Handwerker baubar zu machen, ist also schon sehr alt. Was sich im Laufe der Zeit verändert hat, ist das Medium auf dem Pläne, bzw. aus dem Modelle gemacht werden. Die in Stein geritzten Risse wurden durch Tuschezeichnungen auf Pergament abgelöst, irgendwann wurde das Pergament durch Papier ersetzt. Das Zeichnen mit Tusche auf Papier war dann eine sehr lange Zeit bis Ende des 20. Jahrhunderts die gängige Praxis. Erst in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts wechselte das Medium erneut, die Planung mittels CAD löste Papier und Tusche ab. Die dreidimensionalen Architekturmodelle bestehen aber auch heute zum Teil noch aus Holz, wie schon im Mittelalter. Hier gibt es erst seit einigen Jahrzehnten den Trend zu am Computer generierten 3D Modellen. Aktuell geht die Entwicklung weiter zu vier- oder sogar noch mehrdimensionalen Modellen. Diese beinhalten dann neben den geometrischen Abmessungen in drei Dimensionen auch noch weitere Dimensionen wie Zeit, Material und Kosten.

Diese Entwicklung spiegelt sich in der zunehmenden Popularität von BIM – Building Information Modeling – wieder. Kein Architektur- oder Ingenieurbüro kann BIM heute noch ignorieren, es ist längst im alltäglichen Planungsprozess angekommen. In dieser Arbeit möchte ich die aktuellen Möglichkeiten der dreidimensionalen Modellbildung am Beispiel der Modellierung des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen der TU München darstellen. Im Besonderen werde ich auf die unterschiedlichen Varianten der Verknüpfung von unterschiedlichen Modellen und das Exportieren von Daten eingehen.

## 2 BIM – Building Information Modeling

BIM – Der Begriff ist seit einiger Zeit das absolute Modewort im Bauwesen. Doch was ist damit eigentlich gemeint?

*„BIM is changing the way buildings look, the way they function, and the ways in which they are built“*  
(Eastman, Teichholz, Sacks, & Liston, 2011, S. 353)

Dieses Zitat beinhaltet alles was BIM ausmacht. BIM verändert nicht nur das Aussehen der Gebäude, durch die unglaublich vielseitigen Möglichkeiten der Gestaltung die sich daraus ergeben, sondern trägt auch maßgeblich zu immer effizienteren, in ihren Funktionen leistungsfähigeren Gebäuden bei. Und letztendlich verändert es den kompletten Bauablauf, da eine deutlich höhere Kooperation zwischen den einzelnen Gewerken notwendig wird.

Die Abkürzung BIM kann sowohl für Building Information Model als auch Building Information Modeling stehen, also entweder ein Ergebnis oder einen Prozess beschreiben. Unter einem „Building Information Model“ oder kurz „Building Model“ versteht man ein 3-dimensionales, digitales Modell eines Gebäudes. Es entspricht somit der Weiterentwicklung der Bauzeichnung, der aktuellen Variante des klassischen 2-dimensionalen Bauplans und ergänzt diesen um die dritte Dimension. Dieses Modell bildet aber nicht nur die Geometrie des Bauwerkes ab, sondern auch noch unzählige andere Informationen. Man kann zwar mit den meisten Programmen immer noch aus Linien, Kreisen und anderen Geometrischen Formen einen Plan erstellen, ein Building Information Model besteht aber aus viel mehr als nur Linien. Die Bauteile die man zeichnen möchte sind als Objekte vordefiniert. Diese Objekte besitzen eine Vielzahl von Eigenschaften. Einer Wand zum Beispiel ist das Material „Stahlbeton“ zugeordnet, sie steht im 3.Stockwerk und hat eine Länge von 5 Metern. Diese Informationen sind direkt dem Objekt Wand zugeordnet, die Wand „weiß“ quasi woraus sie besteht und wo sie steht. Diese Art Informationen in einem Program zu verarbeiten bezeichnet man als Objektorientierte Programmierung und ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von klassischen CAD<sup>1</sup> Programmen und moderner BIM Software. In den Datenbanken des Programmes, im Prinzip Tabellen, in denen die Eigenschaften der Objekte abgespeichert sind, findet sich natürlich noch viel mehr Information. Durch diese Fülle an Informationen, kann man moderne BIM Software als nicht mehr nur 3-dimensional (reine Geometrie), sondern als 4-, oder sogar 5-dimensional bezeichnen, da sie auch die (Bau-)Zeit und die Kosten abbildet.

Im Gegensatz dazu beschreibt der Prozess „Building Information Modeling“ den ganzen Vorgang der Planung und Entwicklung des oben genannten Modells. Dieser umfasst viele unterschiedliche Schritte. Ein Anfang könnte sein, dass ein Bauherr mit einer vagen Idee in ein Architekturbüro kommt. Dort entwickelt man erste Skizzen und Pläne im 3-dimensionalen. Gleichzeitig werden an

---

<sup>1</sup> CAD: Computer aided design (rechnergestütztes Konstruieren, der Computer funktioniert als Hilfsmittel zum technischen Zeichnen)



diesem Modell vom Tragwerksplaner schon erste statische Vorüberlegungen getroffen, die unter Umständen das Modell wieder beeinflussen und es verändern. Sobald das Design der Idee des Bauherrn entspricht, wird das Modell weiter detailliert. Der Tragwerksplaner arbeitet die Statik aus und der TGA-Fachplaner stimmt die technische Gebäudeausstattung auf das Bauwerk ab. Mengen und die sich daraus ergebenden Kosten lassen sich früh in der Planungsphase relativ exakt bestimmen und die Bauabläufe können zeitlich perfekt aufeinander abgestimmt werden. Der aktuelle Stand der Planung kann ständig in leicht verständlichen Visualisierungen präsentiert werden. Studien verschiedener Varianten sind in kurzer Zeit erstellt, Schnitte, Grundrisse und Ansichten lassen sich aus einem einzigen Gebäudemodell ableiten. In der Bauausführung stehen auf der Baustelle genaue Ablaufpläne und konsistente Pläne aller Bauphasen zur Verfügung. Der Vorgang endet nicht mit der Fertigstellung des Gebäudes, er wird im Objektbetrieb fortgesetzt. Dem Facility Management stehen äußerst genaue Pläne zur Verfügung, wo welche Leitungen verlaufen, Abläufe der Gebäudereinigung und Instandhaltung lassen sich am digitalen Modell schnell und kostengünstig planen. Selbst beim Abriss des Gebäudes wirkt BIM noch mit. Das Recycling der Baustoffe wird deutlich erleichtert, da in den Datenbanken des Modells genau die verbauten Materialien gespeichert sind.

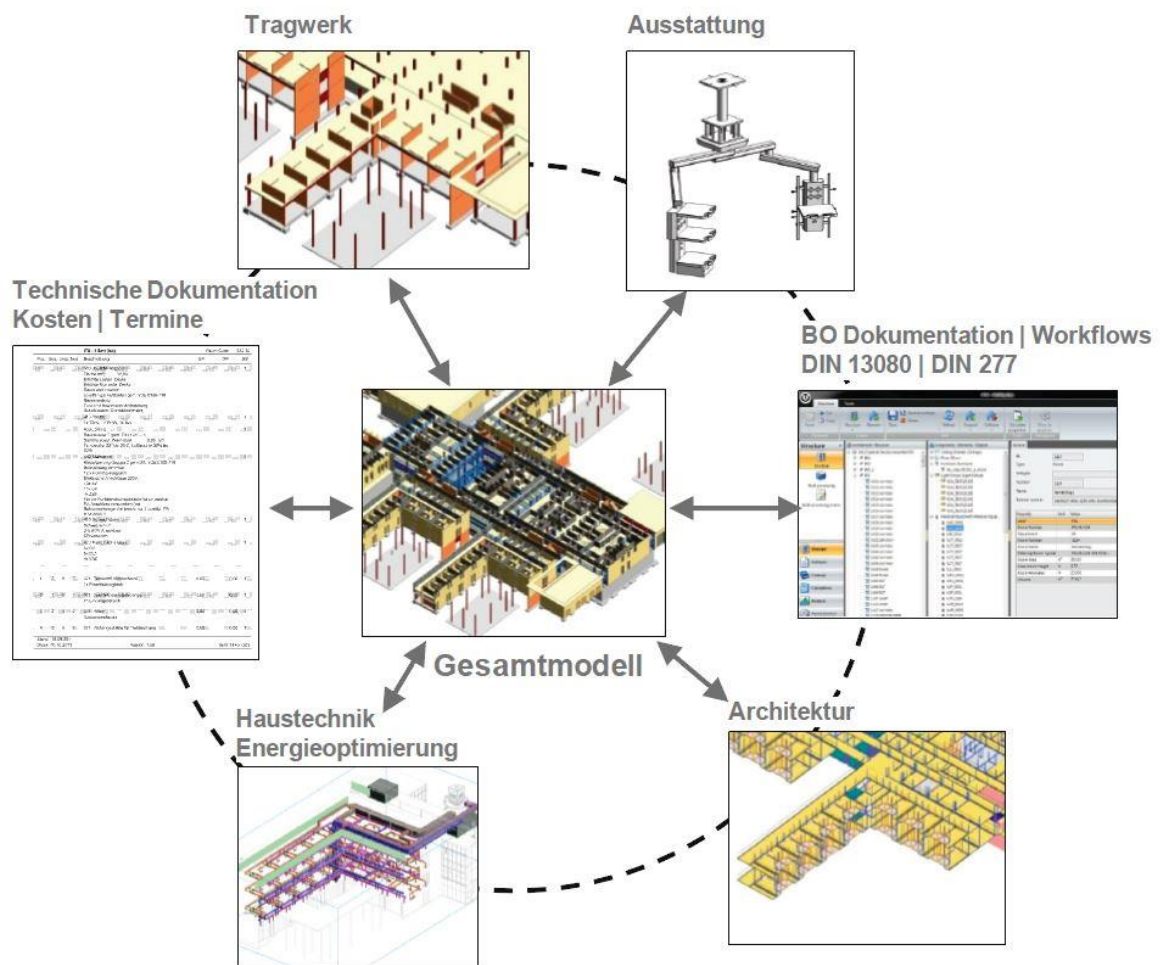


Abbildung 2: Inhalt eines Building Information Modells (Egger, Hausknecht, Liebich, & Przybylo, 2013)

Das während des BIM Prozesses entstandene Modell ist gekennzeichnet durch unterschiedlichste abgespeicherte Informationen, die weit über eine reine geometrische Darstellung eines Gebäudes hinausgeht. Ein Gebäude gliedert sich in verschiedene Objekte die den Bereichen Architektur (Wände, Fenster, Decken, Säulen, usw.), Tragwerksplanung (Balken, Bewehrung, Fundament, Spannglied, usw.), technische Gebäudeausstattung (Heizkörper, Sanitäreinrichtung, Rohre, Feuerlöscheinrichtung, usw.), Elektroplanung (Kabel, Elektrogeräte, Lampen, usw.) oder auch Gebäudeleittechnik (Alarm, Sensor, usw.) zugeordnet werden können. Jedes dieser Objekte wird nun mit einer ganzen Reihe von Eigenschaften abgespeichert. Ein Fenster kann zum Beispiel folgende Informationen beinhalten: Abmessungen, zugehörige Wand, Position in der Wand, Geschoss, Material, Wärmedurchgangskoeffizient, Kosten und noch Vieles mehr. In Abbildung 2 ist exemplarisch dargestellt was in einem Gesamtmodell alles integriert sein kann.

BIM ist also ein Prozess der das Bauwerk ein Leben lang begleitet. Die sich dabei ergebenden Schnittstellen zwischen den einzelnen Gewerken, zwischen Architekt und Tragwerksplaner, zwischen TGA-Fachplaner und Gebäude-Management Firma stellen einen interessanten Punkt da, auf dem im nächsten Kapitel eingegangen wird.

## 2.1 Möglichkeiten des Datenaustausches

Bei Bauprojekten ist es unumgänglich, dass jede Menge Personen an der Planung beteiligt sind. Angefangen beim Bauherrn, über Architekt, Tragwerksplaner, ausführende Baufirma, technischem Gebäudeausstatter, bis hin zum Facility Management. Wobei in jedem Gewerk unterschiedlich viele Personen an dem Projekt beteiligt sein können, gleichzeitig oder nacheinander. Schon allein diese Tatsache macht es notwendig, sich Gedanken darüber zu machen, wie es möglich ist, Daten des Modelles untereinander auszutauschen, bzw. gemeinsam an einem Modell zu arbeiten.

Die Vorteile des gemeinsamen Arbeitens an einem Modell oder zumindest die Weitergabe von konsistenten Plänen von einem Gewerk an das Nächste werden schnell deutlich, wenn man sich die Nachteile einer gegenteiligen Planung vor Augen führt. Wenn jeder sich seinen eigenen Plan zeichnet oder sein eigenes Modell baut, ähnelt das Ganze ein bisschen der bekannten „Flüsterpost“. An jeder Schnittstelle geht eine gewisse Menge der Information verloren und was am Ende rauskommt, hat mit dem ursprünglichen Plan oft nicht mehr viel gemeinsam. Die Abbildung 3 zeigt eine weitverbreitete Karikatur um dieses Problem zu verdeutlichen.

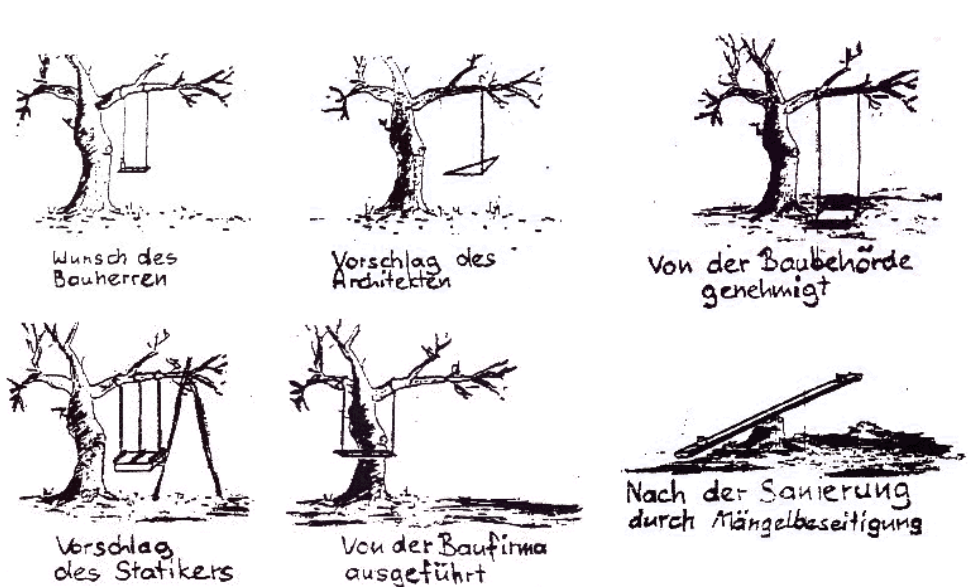


Abbildung 3: Flüsterpost in der Planung<sup>1</sup>

Diese Problematik lässt sich vermeiden, wenn an einem gemeinsamen Modell gearbeitet wird, da jede Änderung sofort an alle Beteiligten kommuniziert wird, und somit deutlich weniger Information verloren geht. Da es unwahrscheinlich ist, dass alle an einem Projekt Beteiligten mit derselben Software arbeiten, sei es aufgrund unterschiedlicher Anforderungen, das Programm des

<sup>2</sup> Quelle: <http://wu-pa.de/> (abgerufen am 03.12.2014)

Tragwerkplaners muss andere Funktionen haben als die Software des TGA-Ingenieurs, stellt sich die Frage wie es möglich ist, die Daten des Modells untereinander auszutauschen.

Es gibt in den aktuellen BIM Software Lösungen unterschiedliche Dateiformate um Daten auszutauschen. Jedes Programm bietet unterschiedliche Funktionen und Kompatibilitäten zu diesen Formaten. Die im- / exportierbaren Dateiformate beginnen bei alltäglichen Formaten wie JPG, BMP, GIF oder PDF, welche als Hintergrund oder Zeichenvorlage eingefügt werden können. Diese Formate sind keine „echten“ BIM Austauschformate, da sie nur Bilder wiedergeben und keine Informationen zu den Beziehungen bzw. Eigenschaften der abgebildeten Element. Des Weiteren werden die abgebildeten Elemente von den CAD Programmen auch nicht als Objekte erkannt, dazu sie müssen nachgezeichnet werden.

Die Formate DWG, DXF oder DWF transportieren deutlich mehr Informationen. DXF (Drawing Interchange File Format) ist zum Beispiel ein von Autodesk entwickeltes Format, welches mittlerweile von fast allen am Markt erhältlichen CAD Programmen im-und exportiert werden kann. Es enthält Informationen die über den reinen geometrischen Inhalt hinausgehen. Neben geometrischen Grundelementen wie Kreisen, Linien oder Polygonen werden außerdem dazugehörige Linienstärken, Farben, Ebenen, Schraffuren und auch Papierbereiche gespeichert. Womit dieses Format Probleme bekommt sind Beschriftungen, da diese nicht als Schrift sondern nur als aneinander gereihte Grundelemente gespeichert werden. Nach dem Import einer DXF Datei bestehen die Beschriftungen deshalb aus Linien, Kreisen und ähnlichen. Somit können auch Parameter wie Schriftart oder Größe nicht mehr geändert werden.

Die IFC (Industry Foundation Classes) stellt ein weiteres wichtiges Dateiformat dar. Hierbei handelt es sich um einen offenen Industrie-Standard der von buildingSMART international definiert wird. Im Vergleich zu oben genanntem DXF Format speichert IFC nicht nur Geometrien ab, sondern auch logische Strukturen im Gebäude. So wird eine Wand nicht nur als Ansammlung von Linien gespeichert, sondern als Objekt, das z.B. Fenster oder Türen enthalten kann und einem Stockwerk zugeordnet ist. In einer IFC Datei können Informationen für unterschiedlichste Aufgaben gespeichert sein. Dieselbe Datei, die die Ansichten enthält, kann gleichzeitig die Tragsysteme und statischen Berechnungsergebnisse umfassen. Das wird ermöglicht, durch komplexe Verknüpfungen zwischen den einzelnen Objekten und ihren Eigenschaften. Der aktuelle Standard ist IFC4.

Es gibt noch eine ganze Reihe weiterer Dateitypen um z.B. Oberflächenbeschaffenheit oder Animationen auszutauschen. Diese haben ihren Ursprung zum Teil in der Spieleentwicklung, was auf die dort sehr hohen Anforderungen an die grafische Darstellung von Objekten zurückzuführen ist. Aus dem Bereich der Geodäsie stammen Formate wie GML (Geography Markup Language) die in erster Linie zum Speichern von Daten aus Geoinformationssystemen dienen. Sie werden in CAD Programmen hauptsächlich genutzt um Informationen über das Gelände zu importieren.

In Kapitel 1.1 wird anhand eines Beispiels genauer auf verschiedene Optionen zum Datenaustausch eingegangen.

## 2.2 Software

Es gibt eine große Menge verschiedener BIM Software am Markt. Die beiden größten Unternehmen sind Autodesk und Nemetschek mit jeweils mehreren Programmen. Andere Anbieter sind Tekla Corp. oder Bentley Systems. Im Folgenden werden einige Programme kurz erläutert.

### 2.2.1 Autodesk Revit



Abbildung 4: Logo Revit<sup>2</sup>

Autodesk Revit ist die am weitesten verbreitete BIM Software und dementsprechend im Moment auch Marktführer im Bereich der architektonischen BIM Software. Die Firma Autodesk wurde im Jahr 1982 in Sausalitos, Kalifornien, gegründet. Der Gründer der Firma, John Walker, prägte das Unternehmen bis 1986 als Vorstand und war bis 1994 im Aufsichtsrat. 1991 wagte das Unternehmen den Sprung nach Europa und gründete zwei Niederlassungen im Schweizer Kanton Neuenburg und in München. Bis 2002 war AutoCAD Architecture die einzige CAD-Software für die Gebäudeplanung im Hause Autodesk, im April dieses Jahres wurde das Produkt Revit von der Revit Technology Corporation übernommen.

Obwohl Revit im Menüdesign große Ähnlichkeiten zu AutoCAD aufweist, ist es ein komplett eigenständiges Programm. Es arbeitet im Gegensatz zu AutoCAD objektorientiert und unterstützt somit den BIM Prozess optimal. Das Arbeiten mit Revit ist sehr intuitiv, leicht und schnell erlernbar. Für die Bedürfnisse der Tragwerksplanung und MEP gibt es die beiden Erweiterungen Revit Structure und Revit MEP. Des Weiteren ist der Export von Modellen in sehr viele andere Programme zu spezielleren Themen, wie Energie- und Raumklimatische Berechnungen, Visualisierungen und auch zum Gebäudemanagement problemlos möglich. Wenn es um die Modellierung von komplizierten Freiformflächen geht, kommt das Programm an seine Grenzen und es ist eine bewährte Methode, die betreffenden Gebäudeteile in einem besser geeigneten Programm zu modellieren und anschließend in Revit einzufügen.

---

<sup>3</sup> Quelle: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/features/software-for-bim/new/gallery-view>  
(abgerufen am 03.12.2014)



Die Arbeitsweise mit Revit bietet unterschiedlichste Möglichkeiten. Nachdem die einzelnen Ebenen, die den Geschossen entsprechen, erstellt wurden, werden automatisch die Grundrisse dieser Geschosse erzeugt. Dem Benutzer steht es nun frei in den Grundrissen im zweidimensionalen zu arbeiten, oder direkt im aus diesen Grundrissen generierten 3D-Modell. Die einzelnen Zeichnungen sind untereinander in beide Richtungen verknüpft, das heißt, eine Änderung im 3D-Modell wird automatisch in den Grundrissen übernommen und umgekehrt. Dieses Prinzip trifft auch auf alle anderen Ansichten und Schnitte zu. Das Erstellen des Modells geschieht in erster Linie mit vordefinierten Objekten wie Wänden, Decken, Fenster und Türen. Diese Objekte besitzen gewisse Eigenschaften, die das Material, das Aussehen, und auch technische Details wie zum Beispiel den Wärmedurchgangskoeffizienten beschreiben. Zusätzlich zu den vordefinierten Objekten ist es auch möglich eigene Objekte zu erstellen.

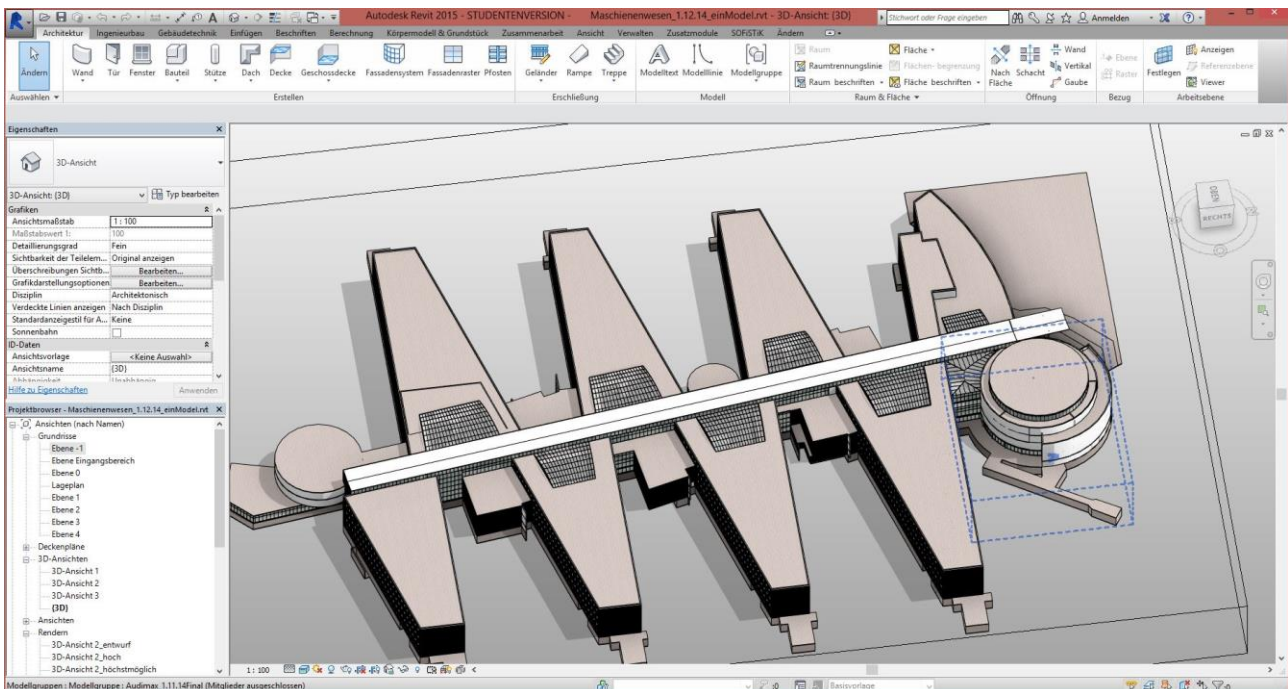


Abbildung 5: Benutzeroberfläche in Revit

Die Software Autodesk Revit kommt jährlich in einer aktualisierten Form auf den Markt. Die aktuelle Version ist Autodesk Revit 2015. Folgende 28 Funktionen gibt der Hersteller auf seiner Website<sup>4</sup> als Neuerungen gegenüber der Vorgängerversion an:

- Automatisch erstelltes Tragwerksberechnungsmodell
- Lasten und Auflagerbedingungen können am lokalen Koordinatensystem des Bauteils ausgerichtet werden
- IFC-Dateien lassen sich mit dem Revit-Projekt verknüpfen
- Für die Funktion Dehnen/Stutzen können nun mehrere Elemente mit einem Auswahlrahmen ausgewählt werden
- Die Reihenfolge der Familienparameter kann angepasst werden
- Es gibt temporäre Ansichtsvorlagen
- Betonelemente können mit Bewehrung versehen werden
- Darstellung der Bewehrung in Fertigungsplänen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad
- Tragwerkselementen kann ein eindeutiger Querschnitt zugewiesen werden
- Der Druckverlust in Luftkanälen und Rohren kann mit zwei verschiedenen Gleichungen berechnet werden.
- Anpassungsmöglichkeit für die Quickinfos in Revit MEP
- Präzisere Definition und Platzierung von Tragwerkselementen im Raum möglich
- Der Speicherort der Baugruppenkennzeichen kann verändert werden
- Löschen von fixierten Elementen erst nach Abfrage bzw. aufheben der Fixierung möglich
- Verdeckte Linien können in Ansichten ausgeblendet werden
- Änderungen und Änderungswolken sind verknüpft und lassen sich leichter verändern/löschen
- Die Beschriftung von Elementen wurde verbessert
- Bauteillisten und Mengenermittlung wurden verbessert
- In Bauteillisten können Bilder übernommen werden
- Der Speicherort für Bauelementschlüssel wurde präzisiert
- Nachträgliches Ändern der Referenz für Ansichten
- Beim Duplizieren von Ansichten wird dem Namen des Duplikats "Kopie 1" angehängt
- Bewehrungselemente lassen sich nummerieren; somit wird die Doppel-Zählung in Bauteillisten vermieden
- Die Mehrfachbewehrungs-Beschriftung wurde verbessert
- Luftkanäle und Rohre lassen sich nun besser Beschriften
- Das Anti-Aliasing wurde verbessert um Rechenzeit zu sparen
- In Visualisierungen lassen sich Linien im Stil von skizzenhaften Handzeichnungen anzeigen
- Raytracing wurde verbessert um weißes Rauschen zu minimieren

---

<sup>4</sup> Quelle: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/features/software-for-bim/new/gallery-view>  
(abgerufen am 03.12.2014)

Auf der Internetseite des Herstellers Autodesk<sup>5</sup> finden sich die in Abbildung 6 dargestellten Angaben zu den Systemanforderungen von Autodesk Revit 15. Es werden dabei drei Kategorien unterschieden: „Entry Level Configuration“, „Balanced Price and Performance“ und „Large Complex Models“. Als Anwender muss man also seine Systemkonfiguration auf die geplante Nutzung des Programmes abstimmen.

	Entry-Level Configuration	Balanced Price and Performance	Large Complex Models
Betriebssystem	Microsoft® Windows® 7 SP1 64-bit Microsoft® Windows® 8 64-bit Microsoft® Windows® 8.1 64-bit	Microsoft® Windows® 7 SP1 64-bit Microsoft® Windows® 8 64-bit Microsoft® Windows® 8.1 64-bit	Microsoft® Windows® 7 SP1 64-bit Microsoft® Windows® 8 64-bit Microsoft® Windows® 8.1 64-bit
CPU	Single- or Multi-Core Intel® Pentium® Intel® Xeon® Intel® i-Series processor AMD® equivalent with SSE2 technology	Single- or Multi-Core Intel® Pentium® Intel® Xeon® Intel® i-Series processor AMD® equivalent with SSE2 technology	Single- or Multi-Core Intel® Pentium® Intel® Xeon® Intel® i-Series processor AMD® equivalent with SSE2 technology
Arbeitsspeicher	4 GB	8 GB	16 GB
Auflösung	1280x1024	1680x1050	1920x1200
Speicherplatz	5 GB	5 GB	5 GB, min 10000RPM or SSD

**Abbildung 6: Systemanforderungen Autodesk Revit 15**

Im Kapitel 1 wird ein ausführliches Beispiel zur Modellierung eines Gebäudes mit Autodesk Revit behandelt.

---

<sup>5</sup> Quelle: <http://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2015-products.html> (abgerufen am 03.12.2014)



## 2.2.2 Überblick über andere Wettbewerber am Markt



Abbildung 7: Logo Allplan<sup>5</sup>

Das CAD Programm Allplan wurde 1984 von der Nemetschek Programmsystem GmbH auf den Markt gebracht. Das Programm wurde seitdem beständig weiterentwickelt und ist heute eine leistungsfähige BIM-Lösung, die alle Bauphasen unterstützt. Je nach Phase kann entweder in 2D, 3D oder sogar 4D gearbeitet werden, um jederzeit die optimale Arbeitsweise zu ermöglichen. Es gibt verschiedene Tools aus dem Hause Nemetschek zu denen Allplan Schnittstellen besitzt, unter anderem Cinema 4D zur Visualisierung bzw. zum Rendering oder Nevaris zur Baukostenplanung. Außerdem sind alle Standard-Schnittstellen wie DWG, DXF, DGN, IFC, PDF vorhanden.

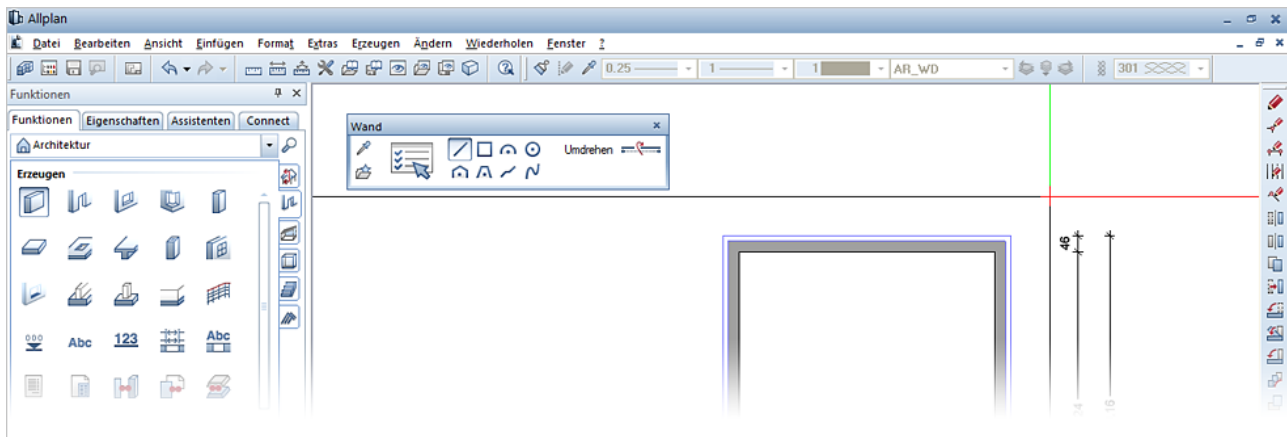


Abbildung 8: Benutzeroberfläche in Allplan<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Quelle: <http://www.nemetschek-allplan.de/software/architektur/2d-3d-cad-software-architektur.html>  
(abgerufen am 3.12.2014)



Abbildung 9: Logo Vektorworks (Wikipedia - Vectorworks, 2014)

Vektorworks wurde ursprünglich 1985 als Minicad von Diehl Graphsoft gegründet. Nachdem die Firma 2000 von Nemetschek aufgekauft wurde, ist der Name recht schnell geändert worden. Von nun an hieß das Programm Vectorworks von Nemetschek North America und ist somit das zweite CAD Programm im Portfolio der Nemetschek AG. Das Zeichnen funktioniert in Vektorworks traditionell mit Geraden, Kreisbögen, Kreisen und weiteren geometrischen Formen. Zusätzlich kann in den neueren Versionen auch Elemente wie Wände, Fenster, Schränke und Pflanzen verwendet werden. Das Arbeiten erfolgt in 2- oder 3D, Schnitte und Grundrisse können aus dem 3D Modell erzeugt werden. Es sind aber nicht alle Ansichten und Pläne automatisch miteinander verknüpft, so dass ein Nacharbeiten zum Abgleich der einzelnen Pläne manchmal notwendig ist. Vectorworks nutzt den Parasolid-Modellierkern von Siemens PLM-Software für die 3D Modellierung. Weitere positive Aspekte von Vektorworks sind eine umfangreiche Objektbibliothek, leichtes modellieren von NURBS Oberflächen, sowie die Verfügbarkeit von vielen unterschiedlichen Tools/Programmpaketen wie Vektorworks - Architect, - Designer, - Spotlight, - Landscape, - Machine Design, - Renderworks. Mit Hilfe von Renderworks lassen sich z.B. realistische Bilder oder auch Bilder im Stil einer Handskizze darstellen.

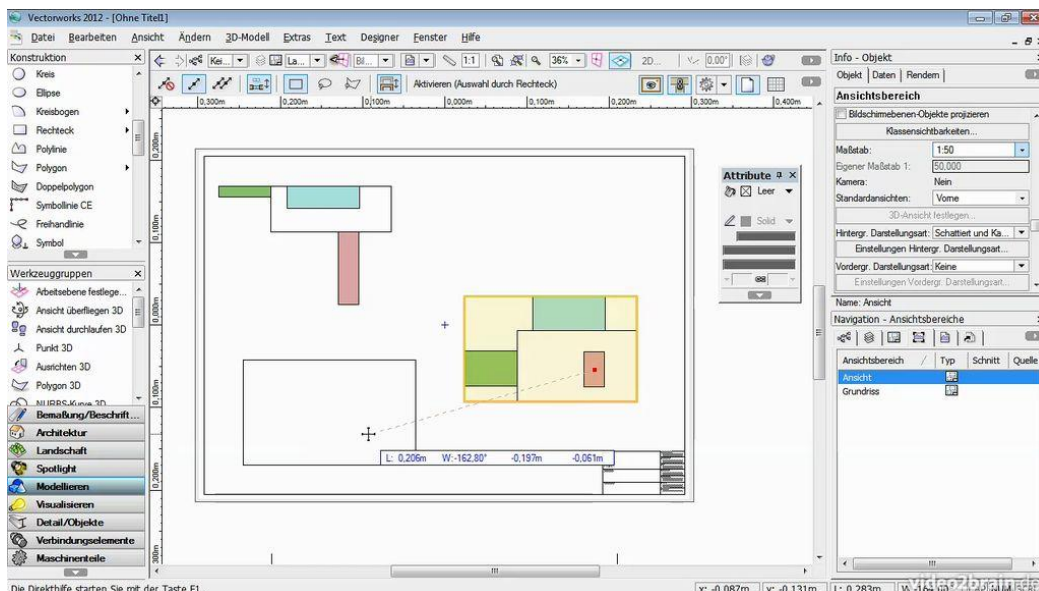


Abbildung 10: Benutzeroberfläche in Vectorworks<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Quelle: [https://dynamicimagesde-v2b.netdna-ssl.com/video/855\\_03\\_04.jpg](https://dynamicimagesde-v2b.netdna-ssl.com/video/855_03_04.jpg) (abgerufen am 03.12.2014)

# GRAPHISOFT. ARCHICAD

Abbildung 11: Logo ArchiCAD<sup>7</sup>

ArchiCAD ist die älteste noch heute am Markt erhältliche CAD/BIM Lösung. Anfang der 80er Jahre wurde das Programm von Graphisoft, einer ungarischen Firma, auf den Markt gebracht. 2007 wurde Graphisoft von dem deutschen Unternehmen Nemetschek AG aufgekauft. ArchiCAD wurde somit nun nach Allplan und Vectorworks schon das dritte CAD/BIM Programm im Hause der Nemetschek AG. Die Benutzeroberfläche von ArchiCAD ist sehr übersichtlich gestaltet, der intelligente Zeiger blendet beim Überfahren einzelner Elemente automatisch kurze Tipps ein. Änderungen am 3D Modell werden sofort auf die einzelnen Pläne übertragen. Die Pläne geben allerdings nur das 3D Modell wieder, sie sind nicht bidirektional, das heißt, Änderungen am Plan haben keine Auswirkung auf das Modell. Die großen Objektbibliotheken und die zahlreichen unterstützten Applikationen erleichtern das Arbeiten mit ArchiCAD. Im Bereich der benutzerspezifischen parametrischen Modellierung gibt es leichte Schwächen.

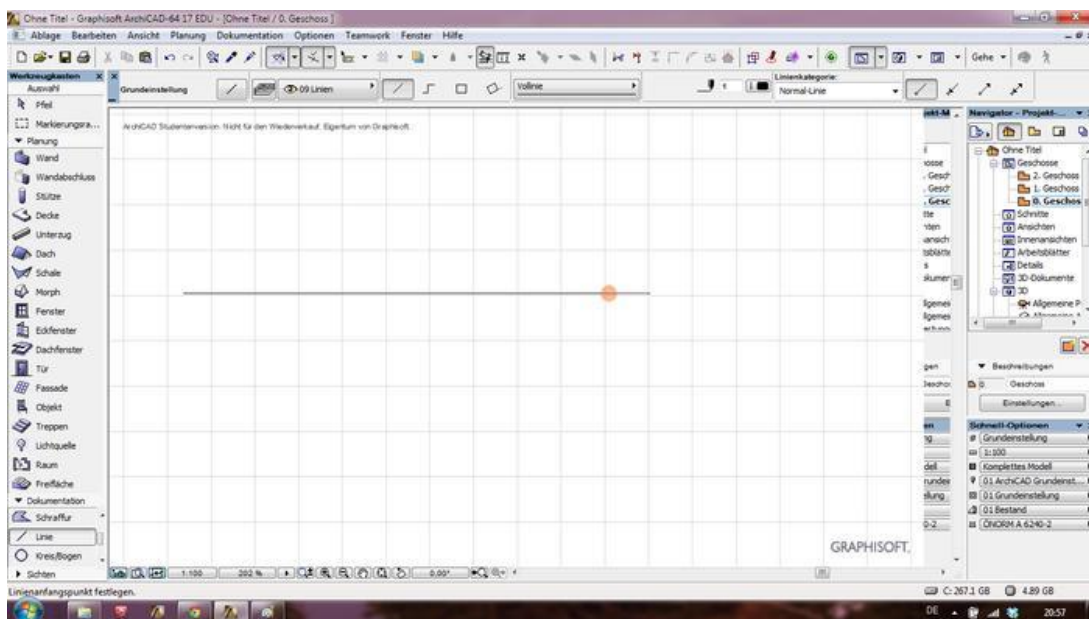


Abbildung 12: Benutzeroberfläche in ArchiCAD<sup>9</sup>

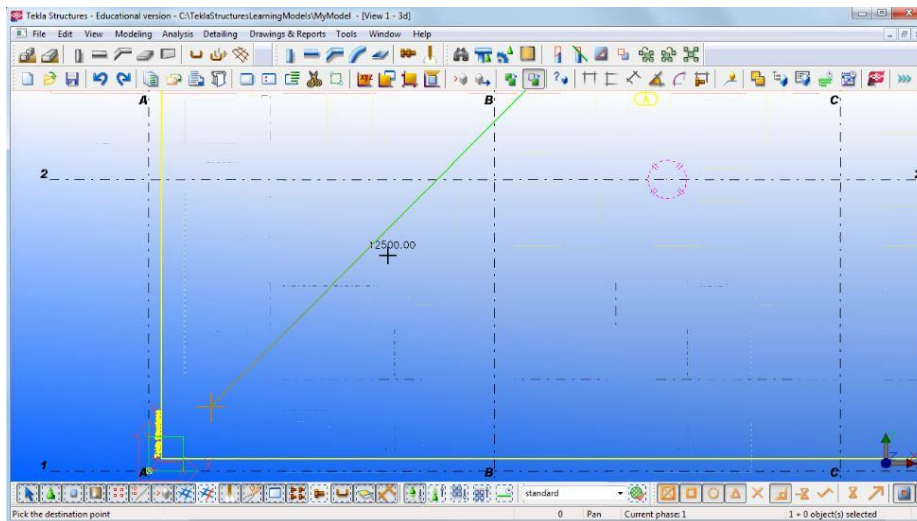
<sup>8</sup> Quelle: [http://www.graphisoft.com/info/news/graphisoft\\_logos/](http://www.graphisoft.com/info/news/graphisoft_logos/) (abgerufen am 03.12.2014)

<sup>9</sup> Quelle: <http://forum.graphisoft.de/viewtopic.php?f=3&t=21409> (abgerufen am 03.12.2014)



**Abbildung 13: Logo Tekla Structures  
(Wikipedia - Tekla, 2014)**

Die Firma Tekla Corp. wurde 1966 in Finnland gegründet. Ihr erstes Konstruktionsprogramm, XSteel, kam Mitte der 90er Jahre auf den Markt. Es war ein reines Stahlbauprogramm, welches sehr schnell weltweiter Marktführer wurde. Seit Anfang dieses Jahrtausends unterstützt das Programm auch Betonkonstruktionen, 2004 kamen weitere Materialien wie Holz und Stahlbeton hinzu. Mit der Erweiterung der bearbeitbaren Materialien wurde auch der Name in Tekla Structures geändert. Seit neuestem verfügt das Programm über Funktionen die das Baumanagement erleichtern. Wie die meisten Konkurrenten besitzt Tekla Structures einen intelligenten Cursor, der beim Überfahren einzelner Element automatisch Hilfe einblendet. Nichts desto trotz ist Tekla Structures eine vergleichsweise teure, unglaublich komplexe Anwendung, die eine lange Einarbeitungszeit benötigt, bevor man wirklich produktiv damit arbeiten kann. Dafür wird der Anwender dann mit vielseitigen Möglichkeiten der parametrischen Objektmodellierung belohnt. Das Programm unterstützt B-Spline- oder NURB-Oberflächen nur insofern, als dass diese aus anderen Programmen eingefügt, nicht aber bearbeitet werden können. Mit Tekla Structures lassen sich ohne weiteres auch sehr große Modelle bearbeiten.



**Abbildung 14: Benutzeroberfläche in Tekla Structures<sup>10</sup>**

<sup>10</sup> Quelle: <https://campus.tekla.com/creating-and-modifying-structures> (abgerufen am 03.12.2014)



Abbildung 15: Logo Bentley Systems (Wikipedia - Bentley Systems, 2014)

Die Basis von Bentleys 2004 eingeführtem 2D/3D-CAD Architektur Tool ist das Programm Microstation. Dazu gibt es eine Vielzahl von Zusatzprogrammen, die eine Anwendung in fast allen Bereichen des Bauwesens möglich machen und dementsprechend viele verschiedene Funktionen bieten. Hierin liegt aber gleichzeitig die größte Schwäche von Bentley Systems, da die Implementierung von den angesprochenen Zusatzprogrammen äußerst schwierig und zeitaufwendig ist. Bentley Systems besitzt eine Bibliothek mit vielen vorgefertigten parametrischen Objekten, die sich nur mithilfe des MDL Application Programming Interface verändern lassen. Eigene, benutzerspezifische, parametrische Objekte lassen sich mit den Tools Parametric Cell Studio oder Generative Components erzeugen. Es gibt sowohl sehr gute Funktionen um Freiform-Oberflächen zu generieren, wie auch um Festkörper zu modellieren. Die genretypischen Features wie Drag-Over-Hints, intelligenter Cursor und benutzerspezifische Menüanpassung sind natürlich auch bei Bentley Systems vorhanden. Die oben erwähnte Vielzahl von externen Tools macht den Einstieg in die Arbeit mit Bentley Systems anspruchsvoll und zeitintensiv.

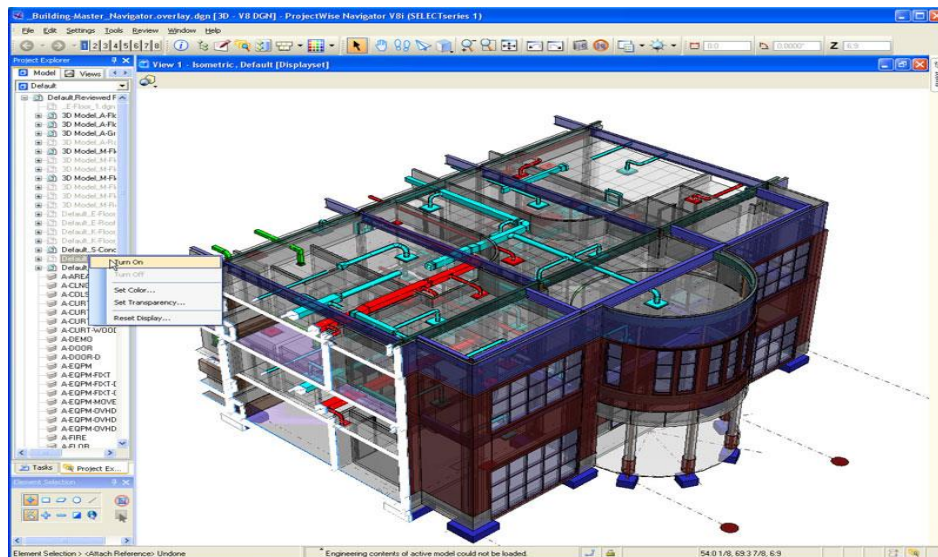


Abbildung 16: Benutzeroberfläche in Bentley Systems<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Quelle: <http://www.directindustry.com/prod/bentley-systems-europe-bv/management-software-viewing-construction-project-28711-512360.html> (abgerufen am 03.12.2014)





Abbildung 17: Logo Autodesk AutoCAD<sup>11</sup>

AutoCAD Architecture ist die ursprüngliche Modellierungs-Software für Gebäude aus dem Hause Autodesk und stellt einen Übergang zwischen 2D Zeichnung und BIM dar. Die Basis von AutoCAD Architecture bildet die vielen Nutzern aus anderen AutoCAD Anwendungen bekannte 2D Zeichenoberfläche. Somit ist AutoCAD Architecture ein relativ leicht erlernbares Programm, auch weil das Interface intuitiv und konsistent zu anderen AutoCAD Programmen gestaltet ist. Die Grundlage der Modellierung bildet die Festkörper und Oberflächen Modellierung. Zusätzlich gibt es ein vordefiniertes Set an Objekten, welches in der Version Architecture unter anderem Wände, Säulen, Balken, Fassaden und Ähnliches umfasst. Die weitem erhältlichen Versionen MEP, Electric, Civil 3D P&ID sowie 3D Plant umfassen jeweils eigene, nutzerspezifische Objekttypen. Diese Objekte sind in sich parametrisch aufgebaut, eine durchgängig parametrische Modellierung ist in AutoCAD aber ohne fundiertes Wissen zur API-Level Programmierung nicht möglich. Das 3D Modell ist in AutoCAD nur in einer Richtung mit dem 2D Plan verknüpft. Die Kompatibilität zu anderer CAD-Software ist nur begrenzt gegeben.

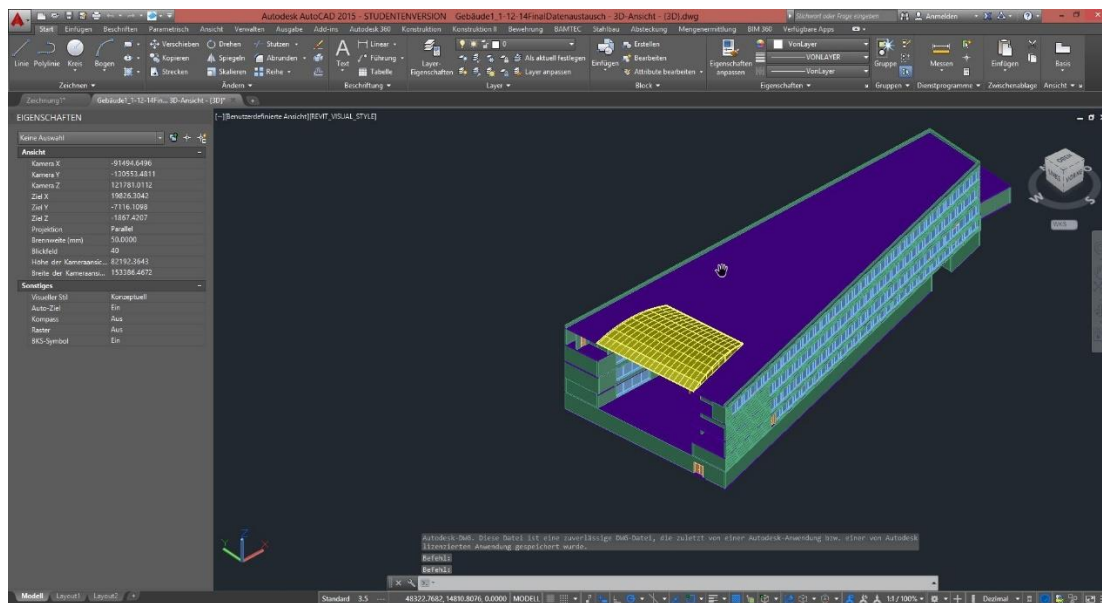


Abbildung 18: Benutzeroberfläche in Autodesk AutoCAD

<sup>12</sup> Quelle: <http://www.autodesk.com/products/autocad/overview> (abgerufen am 03.12.2014)

### 3 Das Projekt Maschinenwesen

Das Gebäude der Fakultät für Maschinenwesen befindet sich am Campus der Technischen Universität München in Garching. Geplant wurde dieses Bauwerk vom Münchner Architekturbüro Henn GmbH, die Tragwerksplanung lag in den Händen des Büros Sailer Stephan und Partner GmbH. In einer Bauzeit von 37 Monaten wurden 127.240m<sup>2</sup> Fläche bebaut bzw. 600.000m<sup>3</sup> Raum umbaut. Bei der Fertigstellung im April 1997 beliefen sich die Baukosten auf ca. 505 Mio. DM

Das Erscheinungsbild des Gebäudes wird geprägt durch einen zentralen, 220m langen Gang, der in Ost-West Richtung und über die komplette Gebäudehöhe durch das ganze Gebäude verläuft. In Nord- und Süd-Richtung gehen je vier "Finger" von diesem Gang ab, in denen sich die Büros, Laboratorien und auch kleinere Hörsäle der einzelnen Lehrstühle befinden. Die größeren Hörsäle befinden sich in den rechteckigen oder halbrunden Anbauten zwischen den Fingern, die beiden großen Hörsäle in den runden Gebäudeteilen am Anfang und Ende des Ganges. Die Intention des Architekten war es, mit dem Gebäude eine Schraube mit Gewinde darzustellen, sozusagen als Symbol für das Maschinenwesen. In *Abbildung 19* wird diese Gestaltungsidee deutlich, man erkennt den Gang in der Mitte als Schraube, die Finger als Gewinde. An den Spitzen der Finger schließen noch weitere Hallen an, in denen vornehmlich Werkstätten und Laboratorien untergebracht sind. Auf diese Hallen wird in der weiteren Arbeit nicht genauer eingegangen.

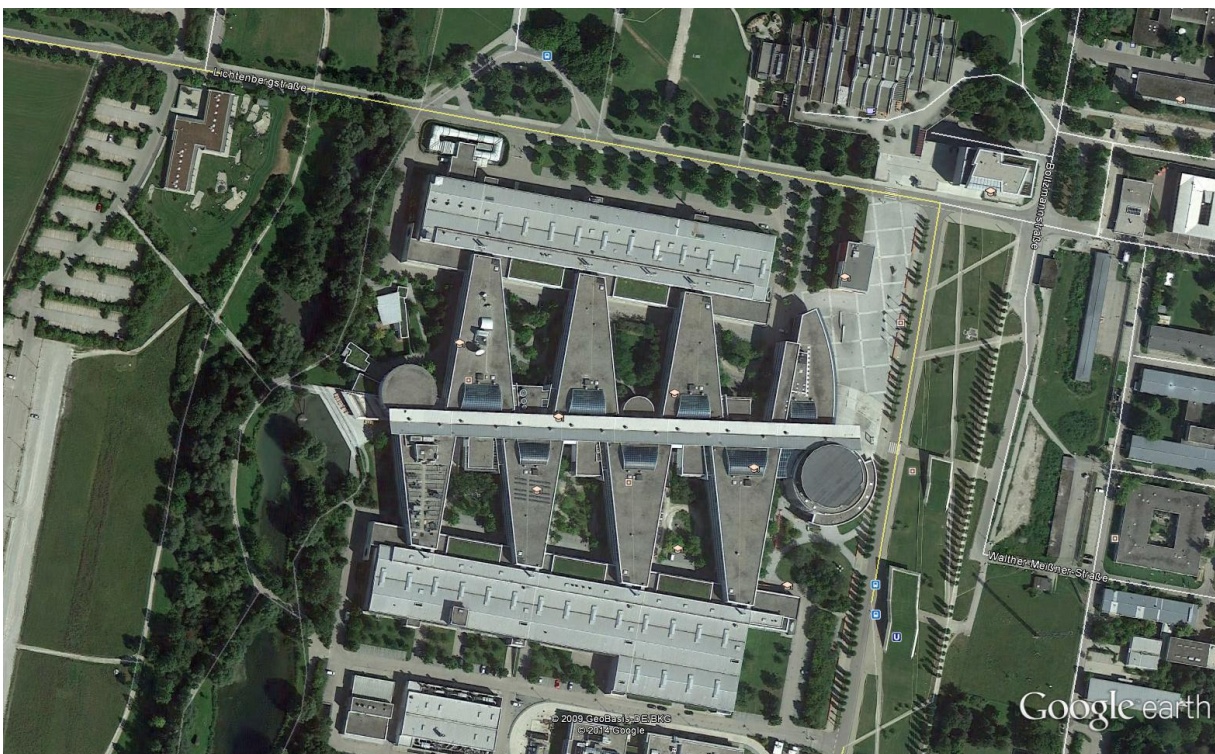
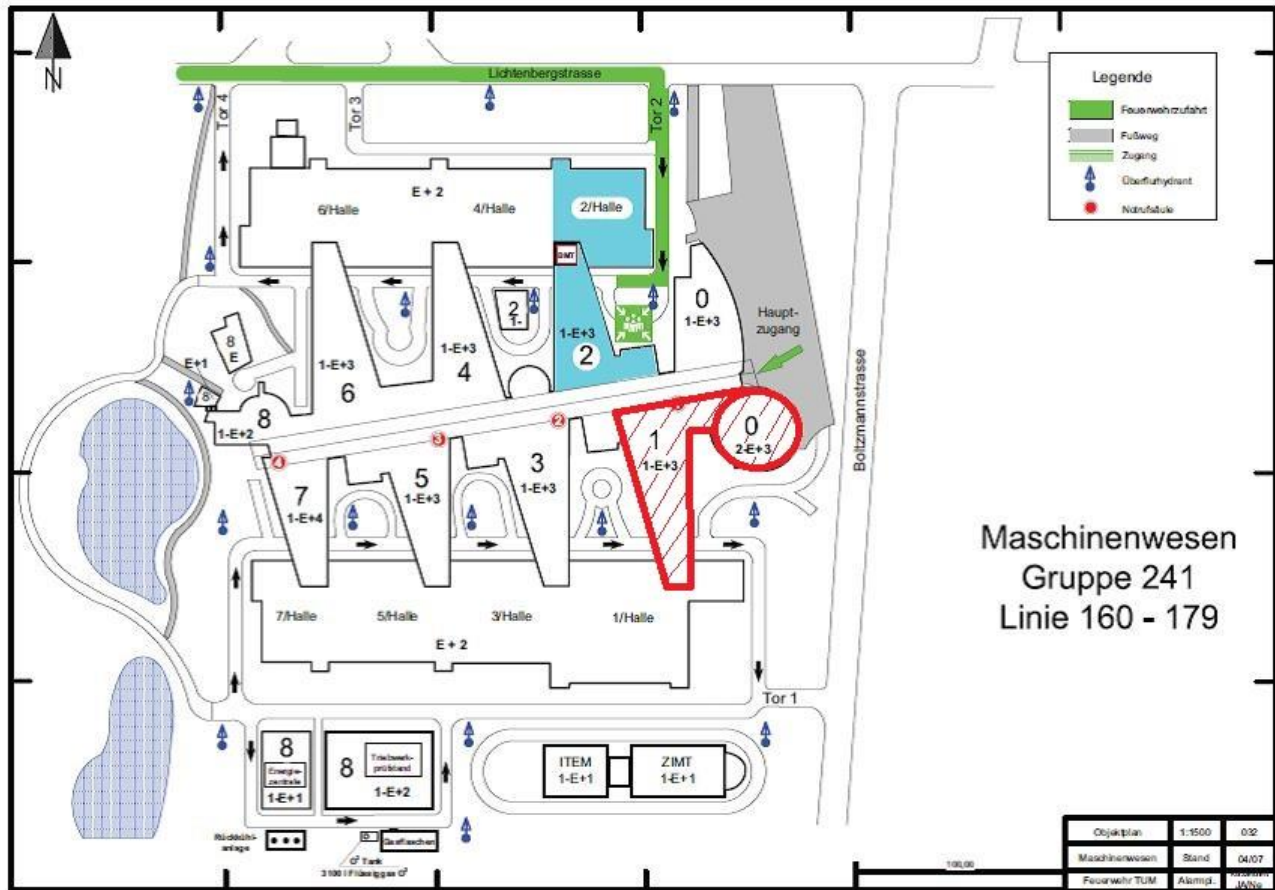


Abbildung 19: Luftbild des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen (Quelle: Google Earth)

In Abbildung 20 ist der schematische Grundriss mit den Gebäudenummern dargestellt.



**Abbildung 20: Schematischer Gebäudegrundriss (vgl. Kuehn Bauer Partner, 1997)**

Da dieses Thema aufgrund der Größe des Gebäudes in Zusammenarbeit mit Christian Hepf bearbeitet wurde, stellte sich schon zu einem recht frühen Zeitpunkt die Frage, wie man die Modellierung am besten aufteilt. Wir haben uns darauf geeinigt, dass ich zuerst ein grobes Modell des gesamten Gebäudes erstelle und anschließend das Gebäude 1, sowie das Audimax Christian Hepf zur Verfügung stelle. In Abbildung 20 ist der von Christian Hepf bearbeitete Gebäudeteil rot schraffiert dargestellt. Er hat diesen Abschnitt detailliert ausgearbeitet und sich mit der Thematik der Fußgängersimulation im Hauptgang während der IKOM beschäftigt (Hepf, 2015).

Ich habe dann die beiden Teile wieder ins Gesamtmodell eingefügt, angepasst und mich mit der Thematik des Datenaustauschs vertieft befasst. Alle Modelle, Zeichnungen und Ansichten, die nicht extra gekennzeichnet sind, wurden von mir erstellt. Die verwendeten Fotos aus Garching wurden von Christian Hepf und mir gemeinsam erstellt.





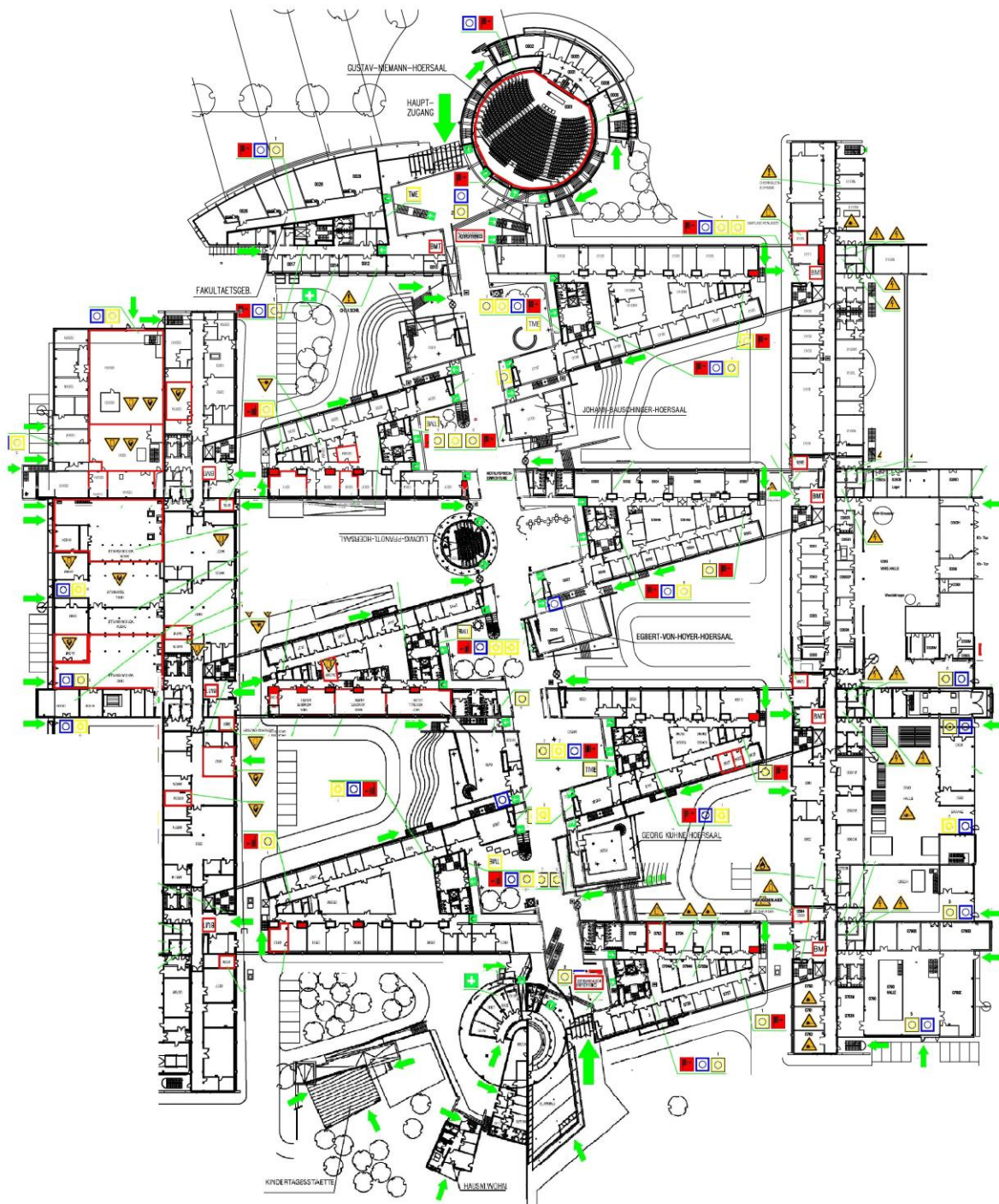


Abbildung 22: Plan EG gesamt

Die zum Abgleich des Modelles mit der Realität benötigten Fotos wurden vor Beginn der Modellierung in Garching aufgenommen. Sie dienten dazu, sich einen Überblick über die Gesamtsituation zu verschaffen und als Ergänzung der teilweise ungenauen Pläne. Den meisten Nutzen brachten Panoramaaufnahmen, welchen einen guten räumlichen Überblick über die einzelnen Gebäude ermöglichten. Diese Aufnahmen wurden im Hauptgang vor jedem Finger, sowie vor und hinter dem Gebäude aufgenommen. Sie befinden sich auf der CD im Anhang.

Da in den PDF's keinerlei Angaben über die Höhen des Gebäudes gemacht wurden, war es unerlässlich diese vor Ort zu messen und zu dokumentieren. (Abbildung 23)

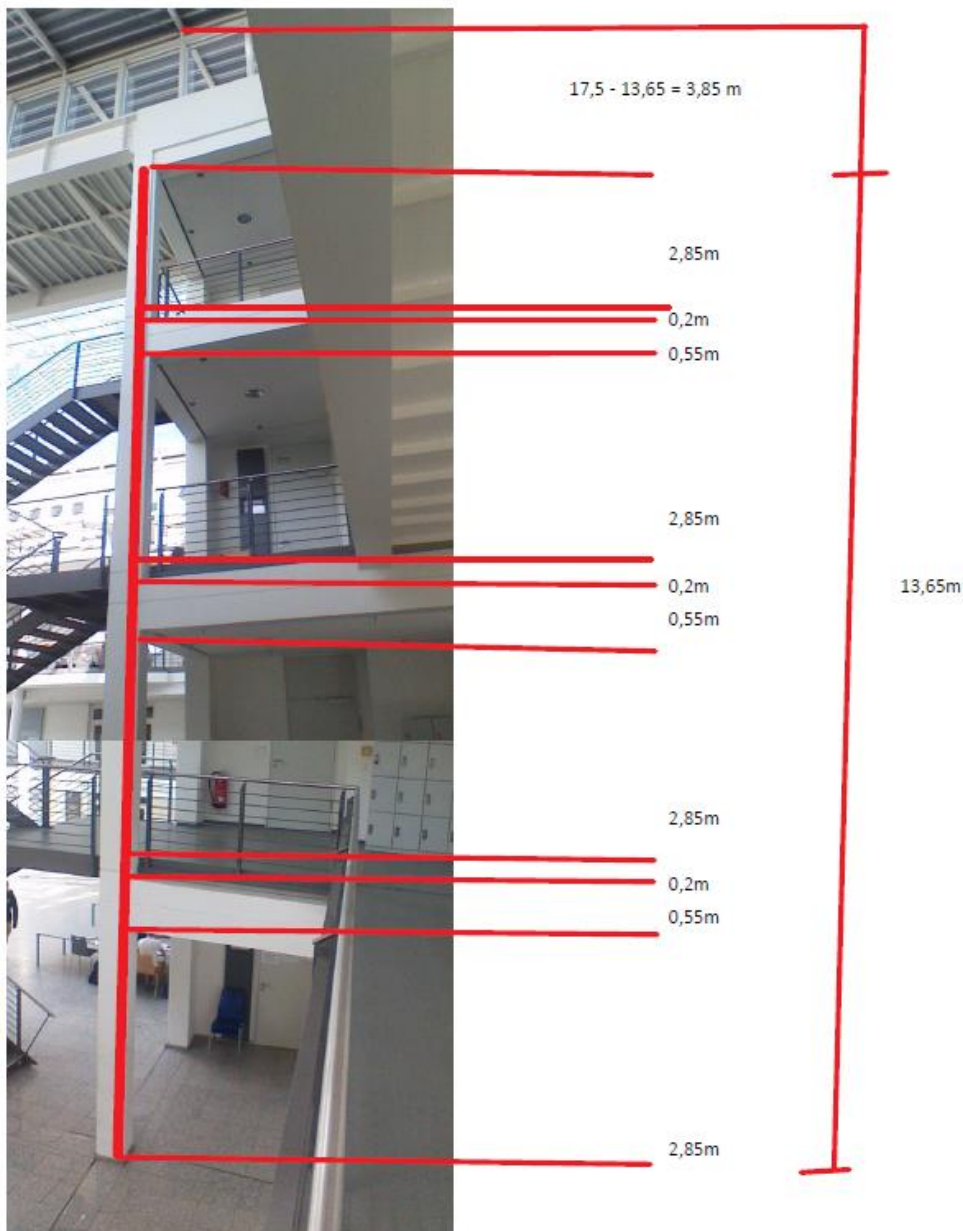


Abbildung 23: Höhenaufmaß



### 3.2 Vorgehen bei der Modellierung

Zu Beginn der Modellierung stellte sich die Frage, wie man das Modell maßstabsgetreu zeichnen kann, da die Maßstäbe der PDF's unbrauchbar waren. Es lief darauf hinaus, dass ich vor Ort in Garching einige markante Stellen mit dem Laser vermaß, mir dieses Maß als Hilfslinie in Revit einzeichnete und anhand dieser Linie meine Vorlagen skalierte. Abbildung 24 zeigt dies am Beispiel einer Trennwand im Eingangsbereich von Gebäude 0.



Abbildung 24: Aufmaß Hauptgang Gebäude 0

In den folgenden beiden Abbildungen sieht man die Trennwand einmal im Grundriss neben der bemaßten Hilfslinie (Abbildung 25), sowie einmal in einer 3D Ansicht (Abbildung 26).

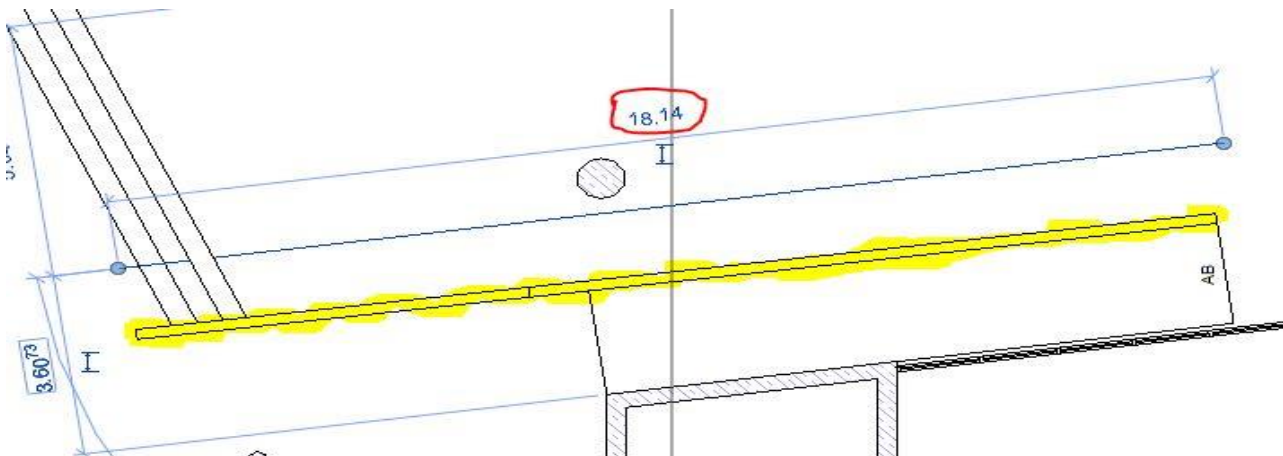
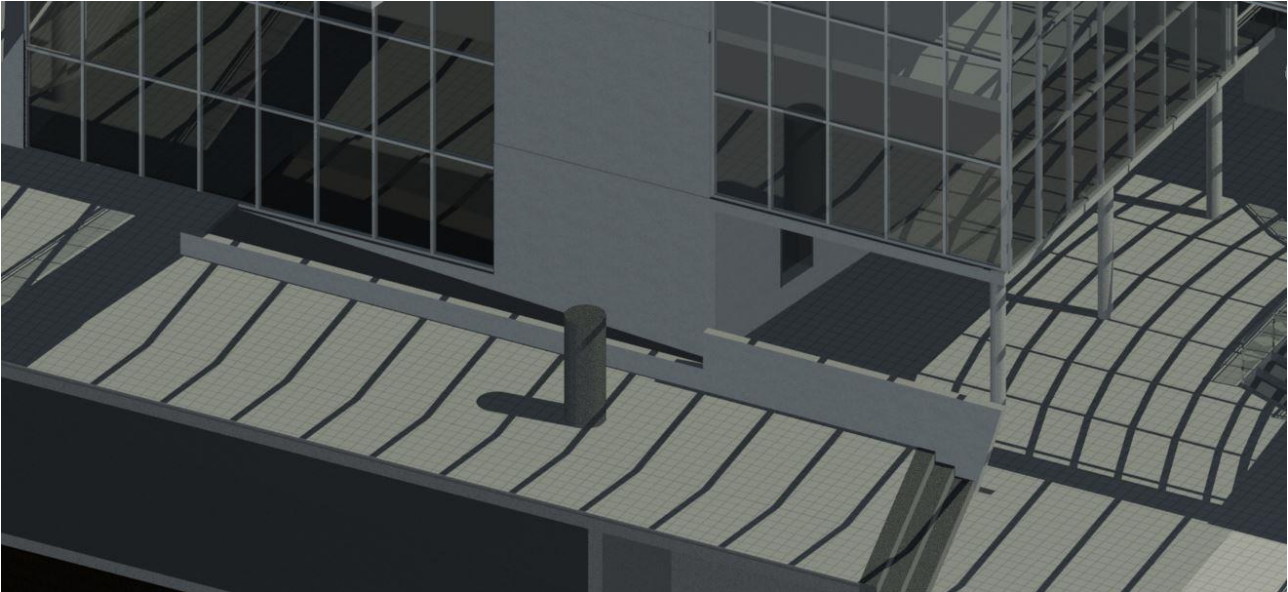
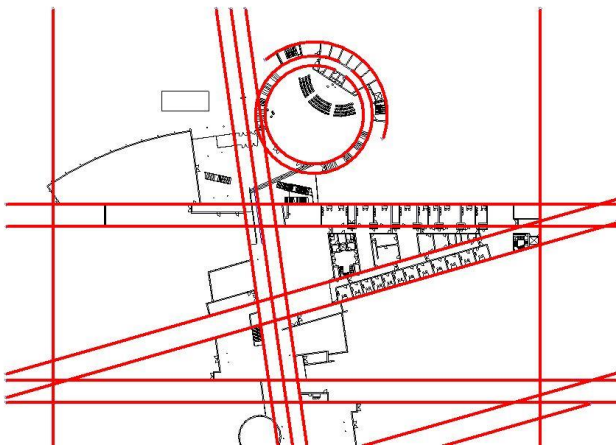


Abbildung 25: Trennwand Gebäude 0



**Abbildung 26: 3D Ansicht Trennwand Gebäude 0**

Dieses Vorgehen stellt einen weiteren Faktor dar, der die Ungenauigkeit des Modells erhöht. Da aber eine absolut fehlerfreie Messung und damit Modellbildung unter keinen Umständen möglich ist, und die Genauigkeit bzw. der Fehler in diesem Fall hinreichend bekannt ist und in keinem Widerspruch zur geplanten Verwendung des Modells steht, ist das Vorgehen akzeptabel.

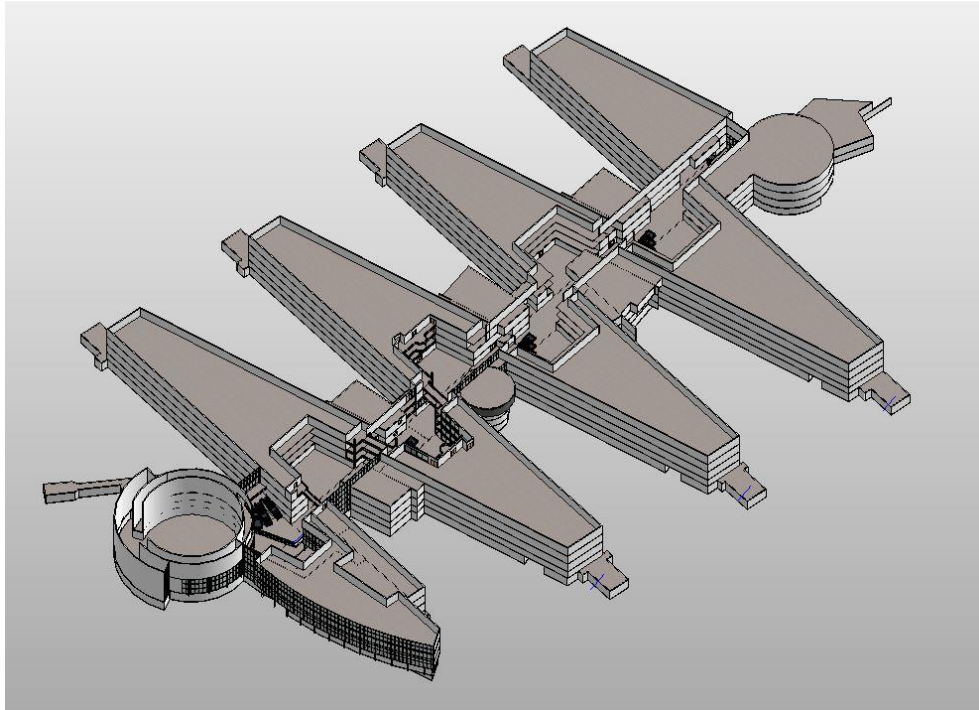


**Abbildung 27: Raster EG**

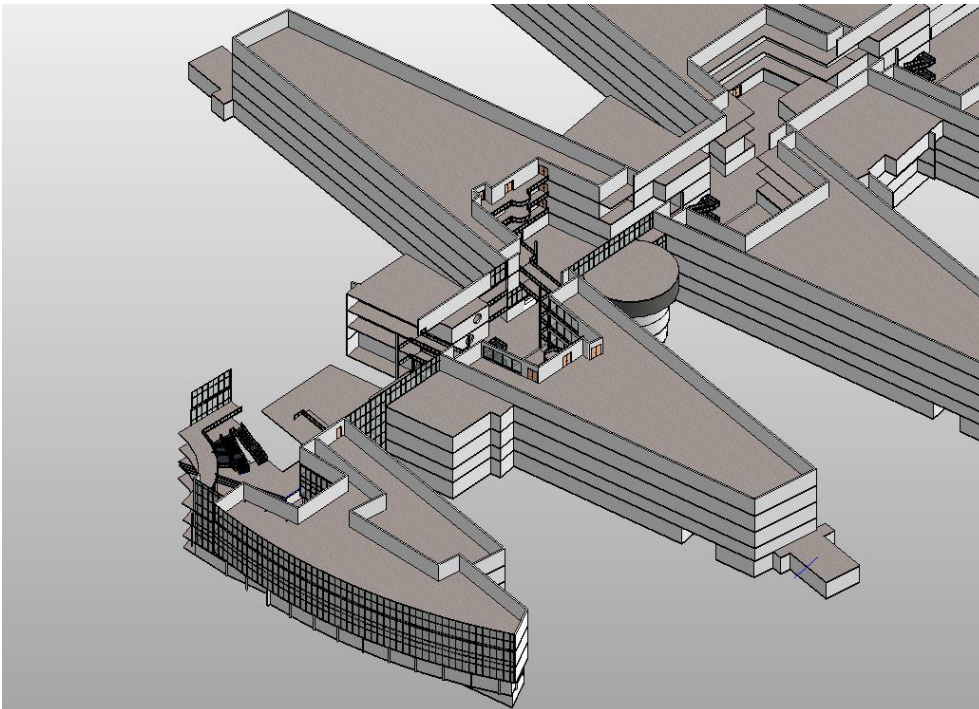
Nachdem die Vorlagen in jedem Geschoss eingefügt und skaliert waren, begann ich damit ein Raster zu erstellen, das die wichtigsten Achsen des Gebäudes wiedergibt. Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt des Erdgeschosses mit dem zur besseren Sichtbarkeit übertrieben dick eingezeichneten Raster. Hierbei stellte sich heraus, dass die Pläne der einzelnen Stockwerke nicht konsistent waren. Ich entschied mich dafür, mich am EG auszurichten und das entstehende Modell mit den Fotos zu verifizieren. Die Vorlagen in den anderen Stockwerken berücksichtigte ich so gut wie möglich, jedoch nahm ich hier Abweichungen in Kauf um deckungsgleich mit dem EG zu bleiben.

Im weiteren Vorgehen konzentrierte ich mich zunächst auf die Außenhüllen des Gebäudes und zeichnete die Wände, Decken, Fassaden ein. Aus diesem Modell generierte ich dann drei einzelne Dateien, einmal das Hauptgebäude welches ich weiter bearbeitete, sowie das Gebäude 1 und das Audimax welche ich an Christian übergab. Auf den nächsten Seiten befinden sich Ansichten des

Gebäudes vor und nach der Teilung (Abbildung 28, Abbildung 29), sowie von Audimax (Abbildung 30) und Gebäude 1 (Abbildung 31) vor der Übergabe an Christian.

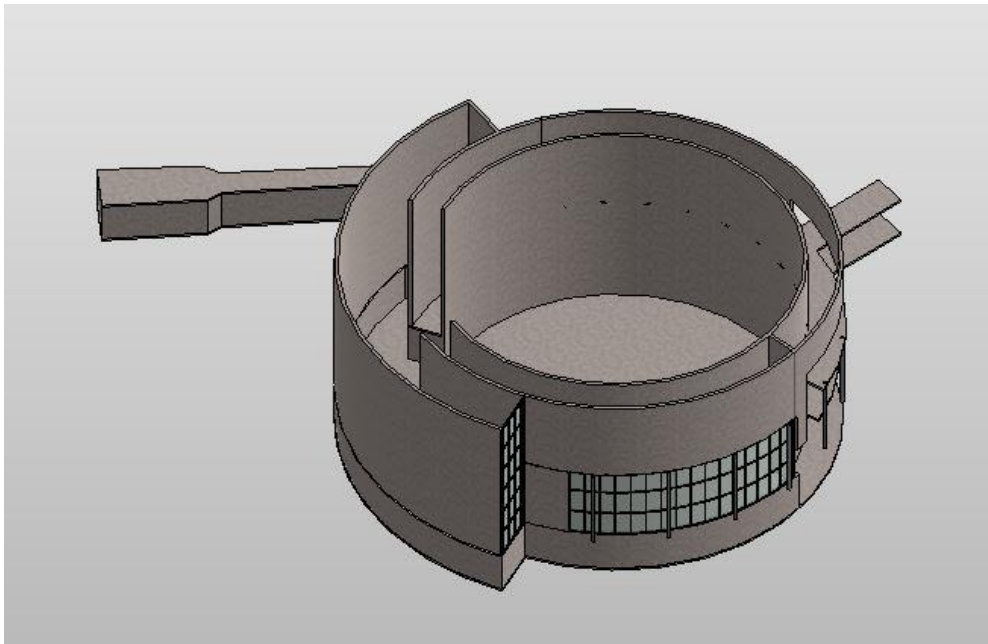


**Abbildung 28: Modell vor der Teilung**

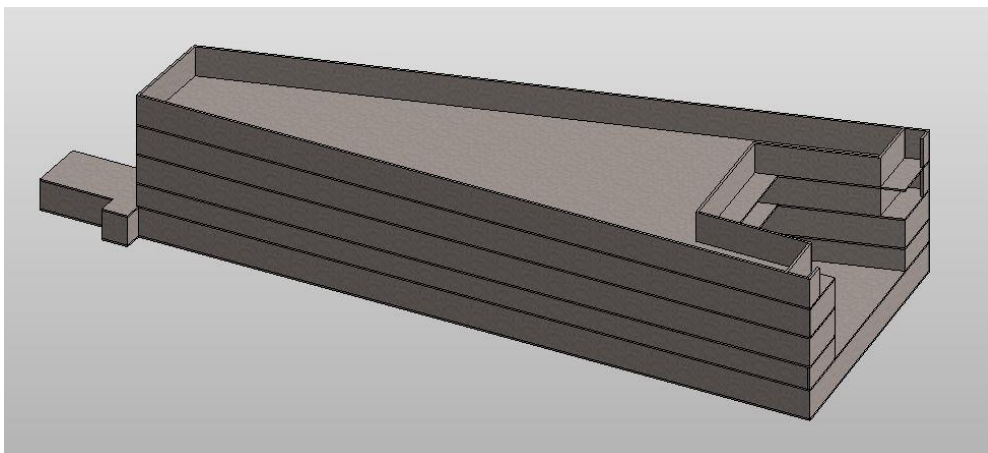


**Abbildung 29: Modell nach der Teilung**





**Abbildung 30: Audimax vor der Übergabe**



**Abbildung 31: Gebäude 1 vor der Übergabe**

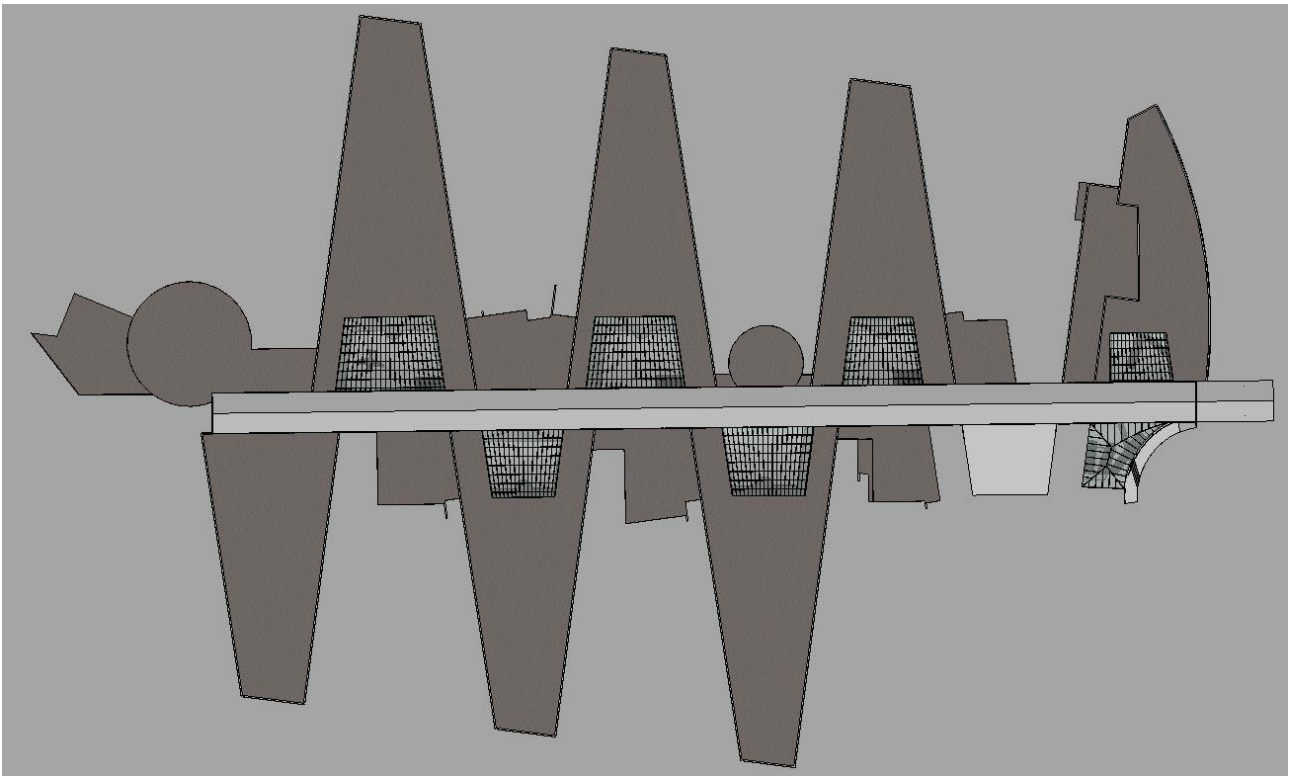
Im nächsten Schritt kümmerte ich mich um die detailliertere Ausarbeitung des Hauptganges, der später einmal für die Simulation von Fußgängerbewegungen bei der dort stattfindenden IKOM Messe dienen soll. Hierbei war vor allem eine möglichst exakte Darstellung der Geometrie sowie potentieller Hindernisse im Fluchtweg wichtig. (Abbildung 32)



**Abbildung 32: Blick durch den Hauptgang**

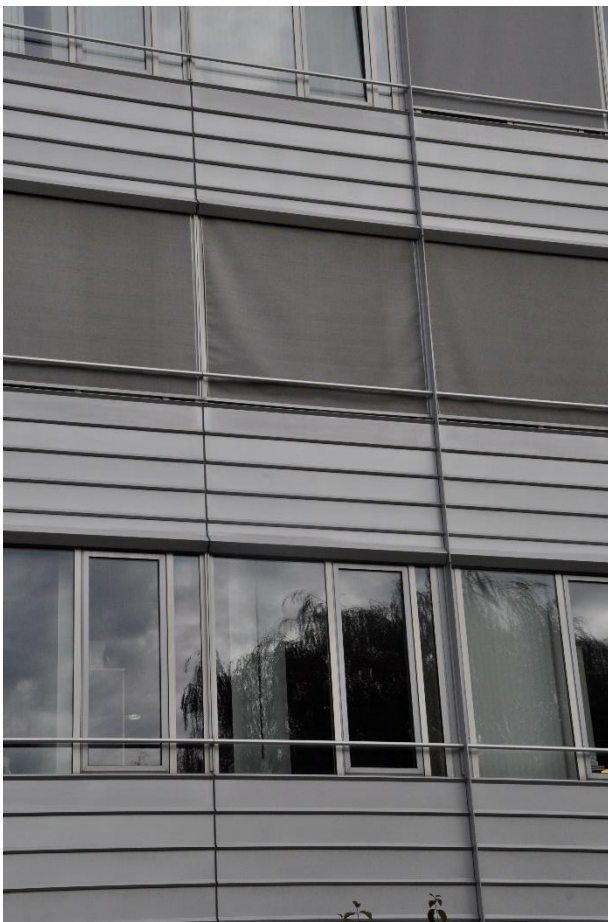


Nachdem der innere Bereich fertiggestellt war, kümmerte ich mich um die Gestaltung der Dächer. Da es hierzu keine Pläne gab, orientierte ich mich hauptsächlich an einem Luftbild aus Google Earth (siehe Abbildung 19). Eine am Modell erstellte Ansicht (Abbildung 33) aus derselben Perspektive wie das Bild aus Google Earth zeigt eine große Ähnlichkeit. Lediglich die Gebäude 1 und Audimax fehlen noch.

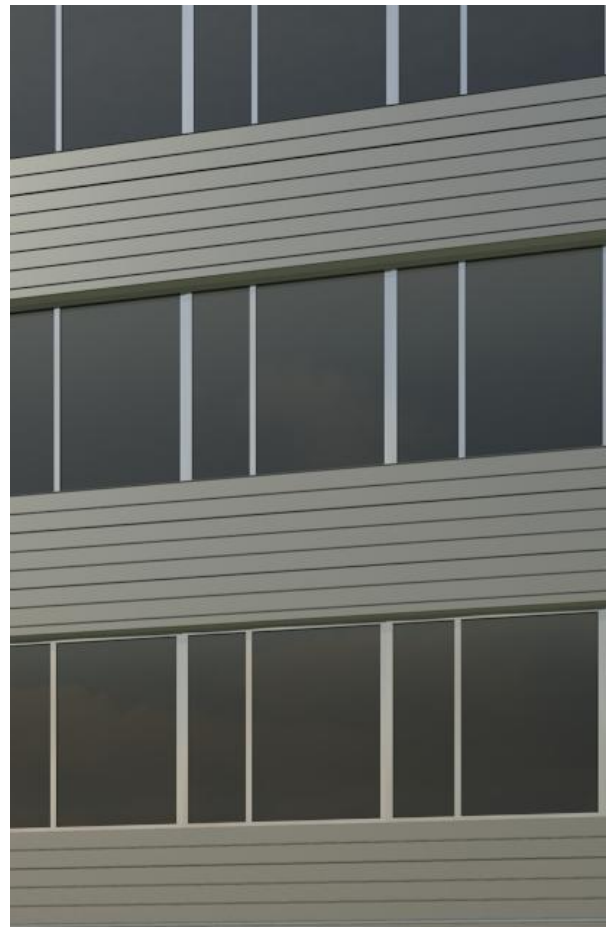


**Abbildung 33: Luftbild aus Revit**

Als das Modell von innen und von oben betrachtet mit dem Original hinreichend übereinstimmte, befasste ich mich nun mit der Bearbeitung der Fassade. Hier konnte ich mit der Funktion „profilerte Wand“ (siehe Kapitel 3.3) ein Ergebnis erzielen, dass durchaus der Realität nahekommt. In den folgenden Abbildungen ist auf der linken Seite ein Foto der Fassade eines Fingers zu sehen (Abbildung 34), auf der rechten dasselbe Bauteil am Revit-Modell (Abbildung 35).



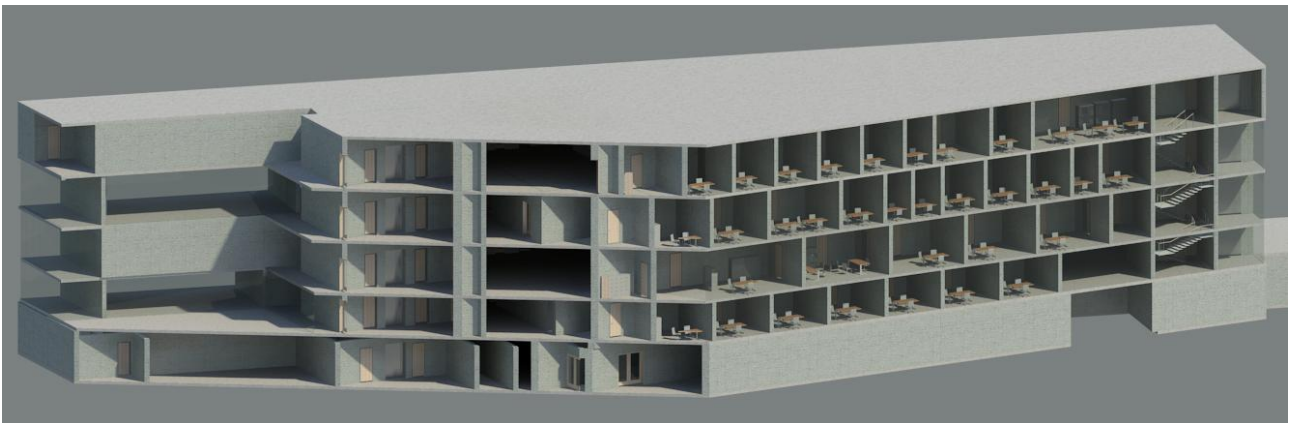
**Abbildung 34: Außenwand Finger, real**



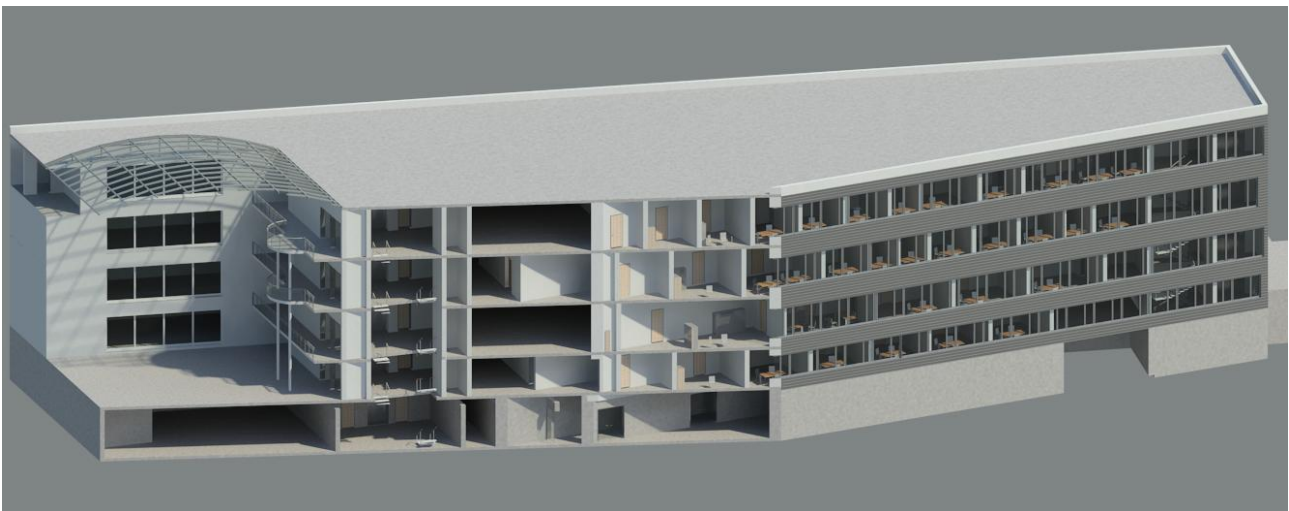
**Abbildung 35: Außenwand Finger, virtuell**

Die Fenster sind ein Standardmodell aus der Revit internen Objektbibliothek, welches nur geringfügig bearbeitet wurde.

Christian Hefp arbeitete das Gebäude 1 und das Audimax im Inneren detailliert aus. Die einzelnen Büroräume, Treppenhäuser, Sanitäranlagen wurden nach den vorhandenen Plänen, sowie vor Ort gemachten Fotos gestaltet. Leider waren die meisten Räume und vor allem Labore nicht zugänglich, so dass die Gestaltung zum Teil auf Vermutungen basiert. Der große Hörsaal (Audimax) wurde mit gestuften Sitzreihen ausgestattet. Die Außenfassaden der beiden Gebäudeteile waren weitestgehend unbearbeitet, so dass ich diese vor dem Zusammenfügen des Modells noch anpassen musste. In den folgenden Abbildungen ist exemplarisch am Gebäude 1 die von Christian erhaltene Version (Abbildung 36) und die von mir angepasste Variante zu sehen (Abbildung 37).

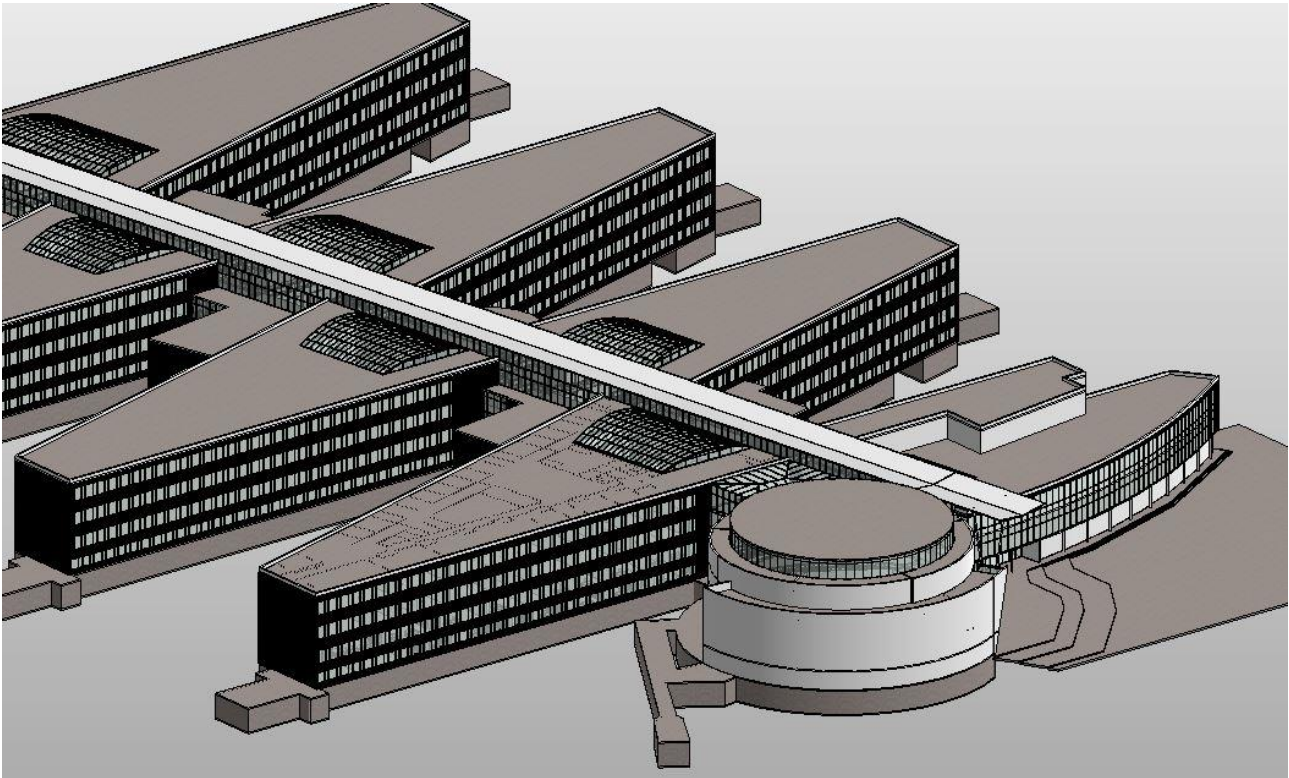


**Abbildung 36: Gebäude 1, unbearbeitet**



**Abbildung 37: Gebäude 1, angepasst**

Abbildung 38 zeigt das fertige Modell nach dem Einfügen von Gebäude 1 und Audimax.



**Abbildung 38: Das fertige Modell**



### 3.3 Verwendete Funktionen

Neben den Standardfunktionen wie zum Beispiel Wände und Decken erzeugen oder Fenster und Türen einsetzen, wurde eine Reihe von spezielleren Funktionen angewendet, die ich im Folgenden kurz erläutern möchte.

**Profilierte Wand:** Um die in Abbildung 35 dargestellte Außenwand zu erstellen, nutzte ich die Funktion „Profilierte Wand“. Diese Funktion ermöglicht es, auf eine bestehende Wand ein Profil aufzusetzen. Dabei kann es sich um einen Sims, Vorsprung oder auch um ein vor die Wand gehängtes Aluprofil wie am Gebäude der Fakultät für Maschinenwesen handeln.

Zum Erzeugen der profilierten Wand wird zuerst eine normale Wand gezeichnet. Anschließend wird im Dropdown-Menü unter der Wand-Funktion der Punkt „Wand: Profilierung“ ausgewählt. Im Eigenschaften-Menü kann nun der Typ des Profils gewählt werden und durch Anklicken der Wand dieser hinzugefügt werden. Abbildung 39 zeigt eine Wand mit dem Metallplatten-Profil des Maschinenwesen Gebäudes.

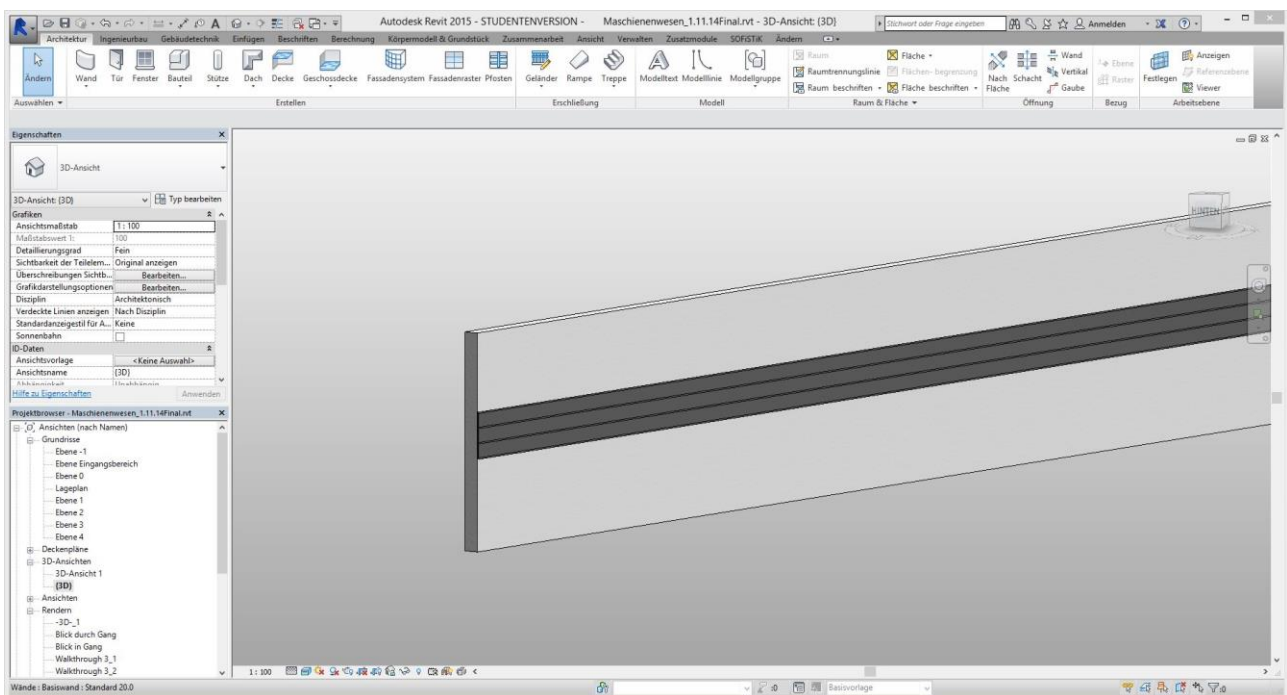
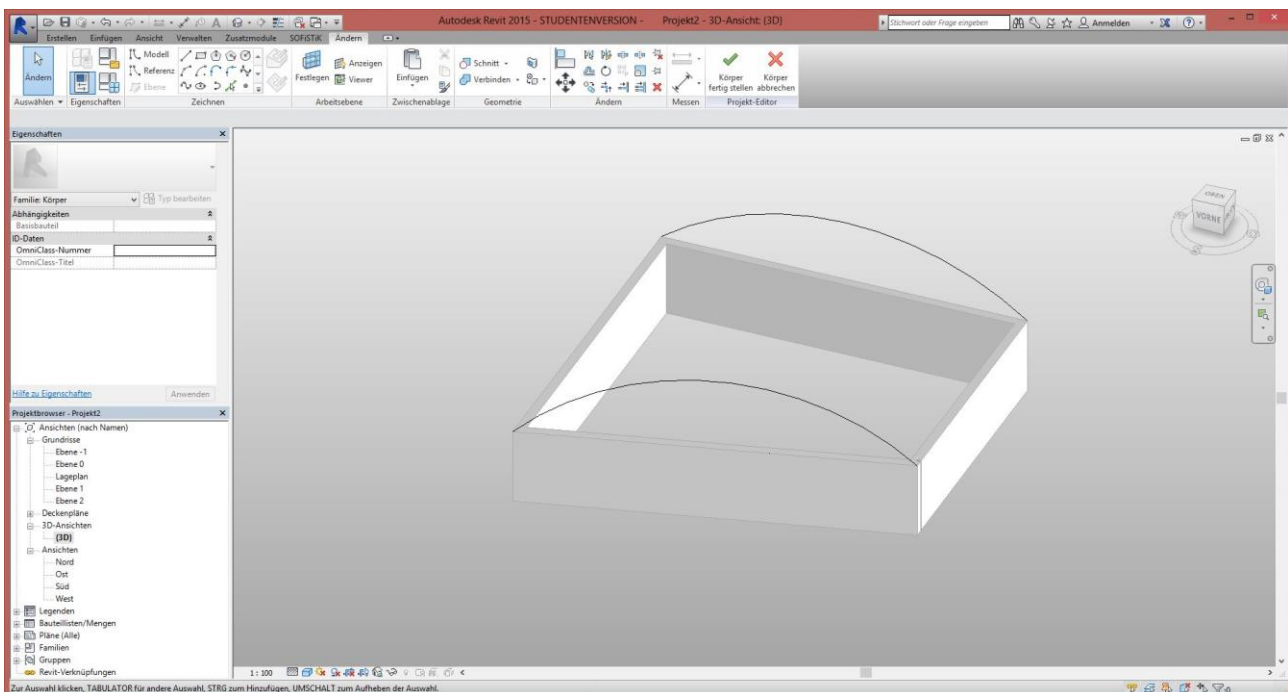


Abbildung 39: Profilierte Wand

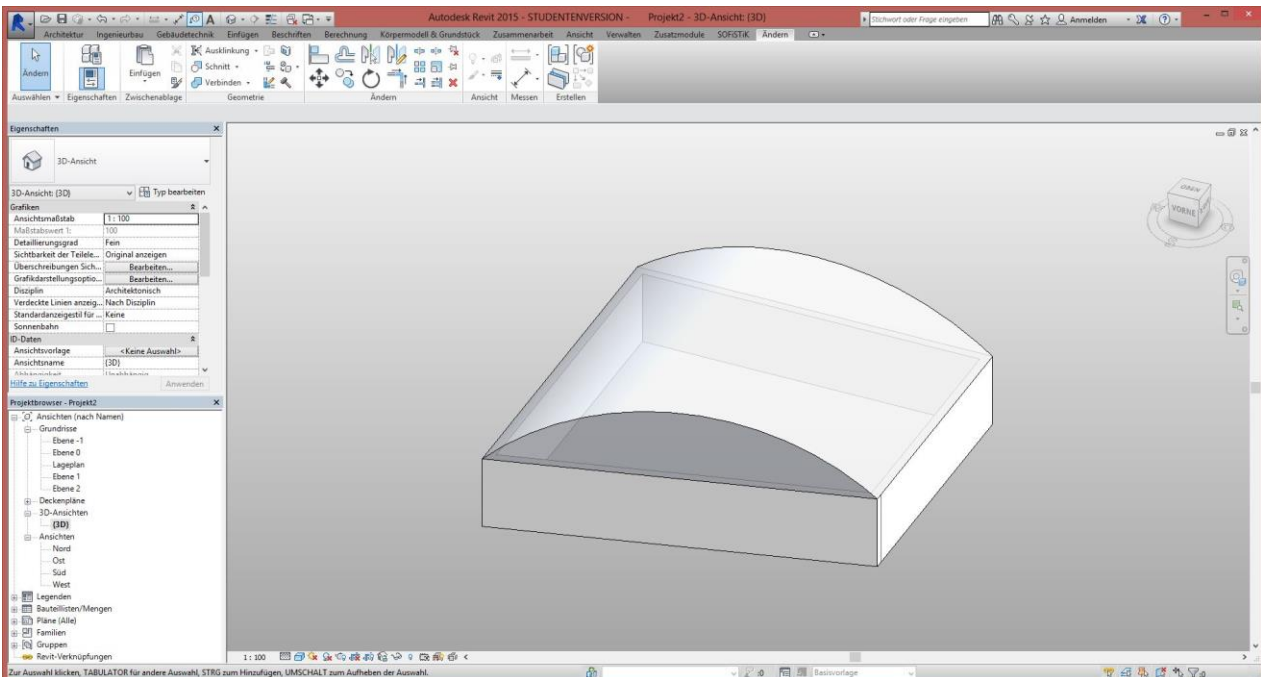
**Kuppel:** Die Glaskuppeln über den Innenhöfen vor den einzelnen Fingern sind nach oben gewölbt und besitzen zusätzlich eine nicht rechteckige Grundfläche. Um ein Fassadensystem in dieser Form erzeugen zu können, muss zuerst ein Projektkörper generiert werden. Dieser kann dann in ein Fassadensystem umgewandelt werden. In den unten abgebildeten Schritten wird dieses Vorgehen erläutert.

Schritt 1: Unter dem Menüpunkt „Körpermodell & Grundstück“ findet sich die Funktion Projektkörper. Hier kann man durch klicken auf die Schaltfläche „Festlegen“ eine Arbeitsebene definieren. Auf dieser Arbeitsebene ist es möglich, eine beliebige Form zu zeichnen. In Abbildung 40 wurde zuerst die hintere Wand als Arbeitsebene gewählt und auf dieser das Kreissegment gezeichnet, welches die Form der zu erzeugenden Kuppel vorgibt. Dasselbe wurde an der vorderen Wand wiederholt.



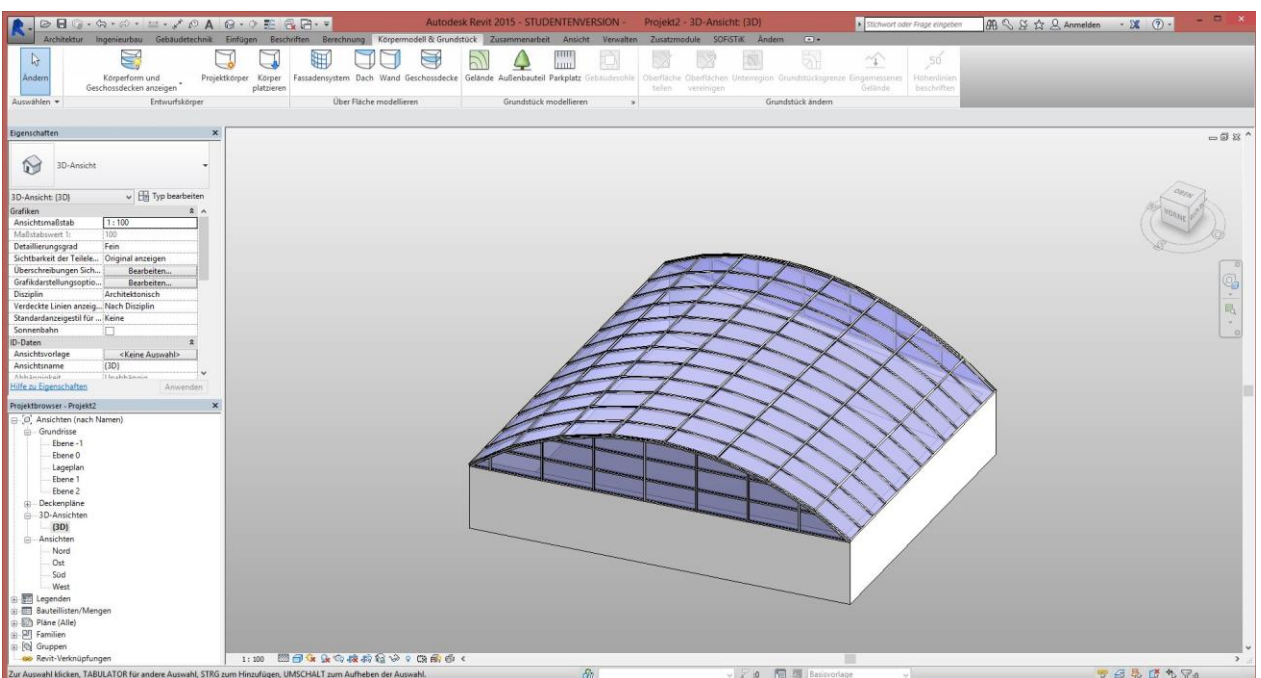
**Abbildung 40: Modellieren einer Kuppel, Schritt 1**

Schritt 2: Um nun einen Körper zu erzeugen, müssen beide durch die Kreissegmente definierten Flächen ausgewählt werden. Durch einen Klick auf „Form erstellen“ werden beide Flächen verbunden und so ein Körper generiert. Der Projektkörper kann nun mit der Schaltfläche „Körper fertig stellen“ erzeugt werden. Abbildung 41 zeigt den fertigen Körper.



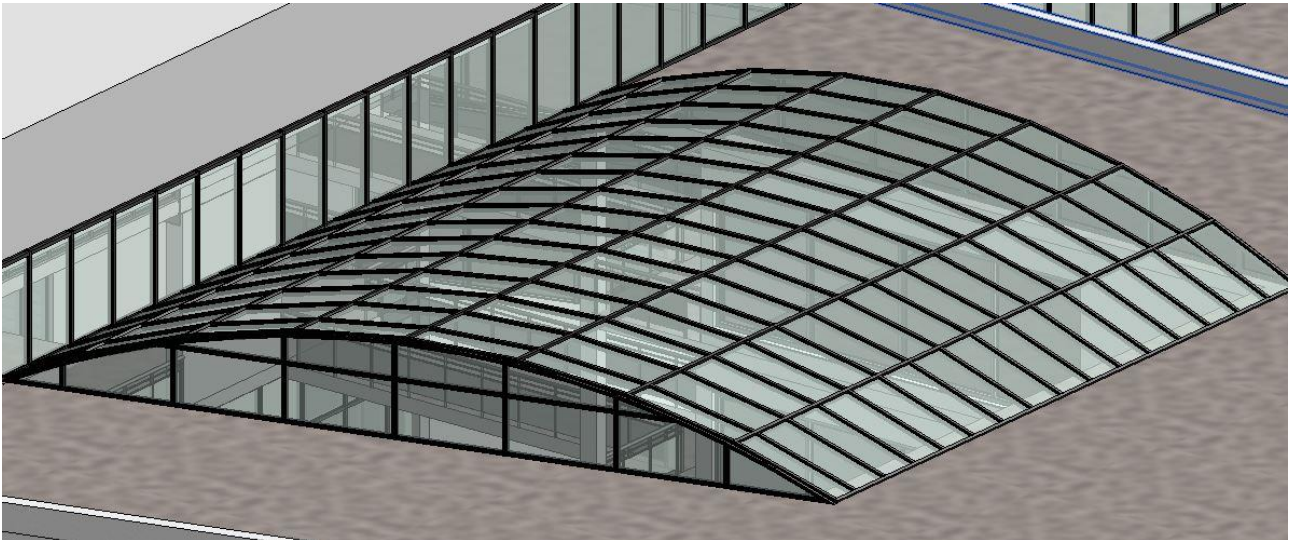
**Abbildung 41: Modellieren einer Kuppel, Schritt 2**

Schritt 3: Unter dem Menüpunkt „Körpermodell & Grundstück“ gibt es die Funktion „Fassadensystem“. Nach dem Anklicken muss man Flächen auswählen, aus denen das Fassadensystem erzeugt werden soll. Im Beispiel wurden beide Seitenflächen, sowie die Mantelfläche angewählt. Durch die Funktion „System erstellen“ wird aus den gewählten Flächen ein Fassadensystem erstellt. (Abbildung 42)



**Abbildung 42: Modellieren einer Kuppel, Schritt 3**

Im fertigen Modell sieht die Kuppel wie in Abbildung 43 dargestellt aus.



**Abbildung 43: Die Kuppel im fertigen Modell**

**Raster:** Bei einem so großen Gebäude mit einer derart komplexen Geometrie ist es unabdingbar ein Raster über das Bauwerk zu legen, um daran die Wände und andere Bauteile ausrichten zu können.

In diesem Fall, in dem ein Modell anhand von PDF Vorlagen erstellt werden sollte, habe ich das Raster an der Vorlage ausgerichtet, diese anschließend ausgeblendet und nur auf Grundlage des Rasters gezeichnet. Zur Überprüfung der einzelnen Wände, Decken, Fassaden usw. habe ich nach dem Zeichnen die Vorlagen wieder eingeblendet und grobe Unstimmigkeiten noch verändert.

1. Schritt: Über die Vorlage wird unter dem Menüpunkt „Architektur“ mit der Funktion „Raster“ das Raster erstellt. Nachdem in jeder Achse eine Linie gezeichnet wurde, ist diese über den Befehl „Kopieren“ in exakt gleichen Abständen wieder eingefügt worden. Somit kann erreicht werden, dass die parallelen Rasterlinien auch alle denselben Abstand haben und die Symmetrie des Gebäudes gewährleistet ist. In Abbildung 44 ist die PDF Vorlage des Erdgeschosses mit eingezeichneten Rasterlinien zu sehen. Die Linien wurden hier übertrieben dick dargestellt um die Sichtbarkeit zu erhöhen.



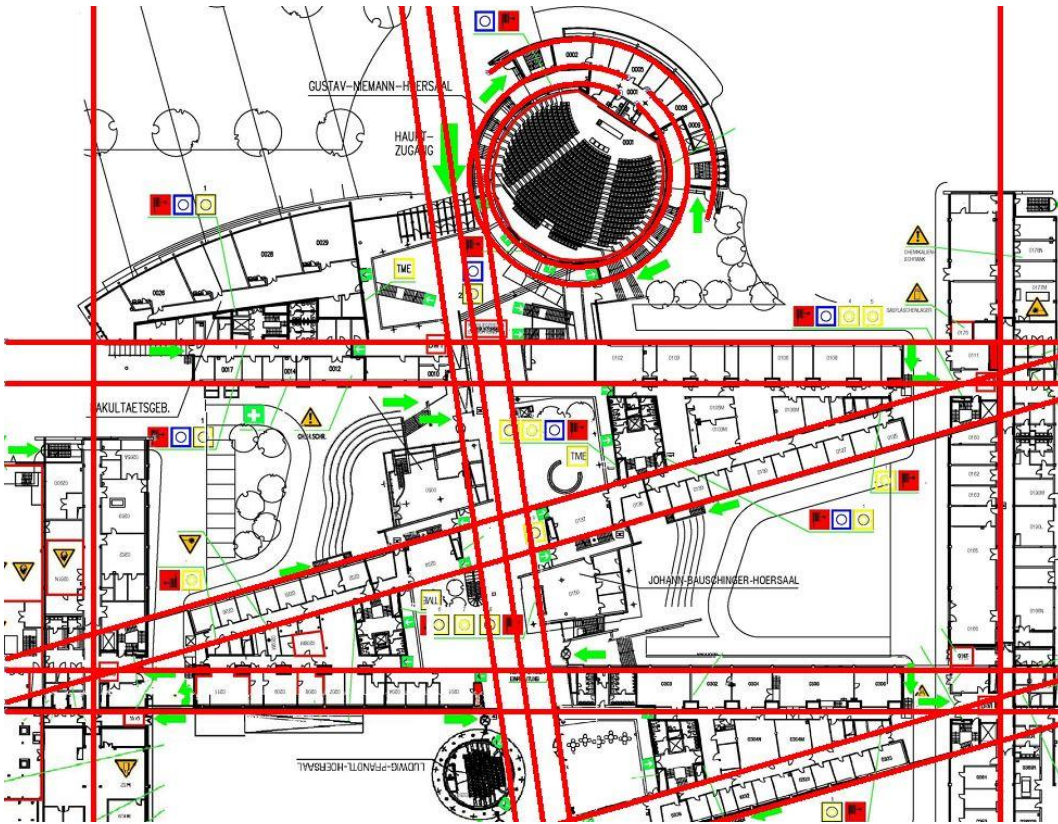


Abbildung 44: Vorlage, mit eingezeichneten Rasterlinien

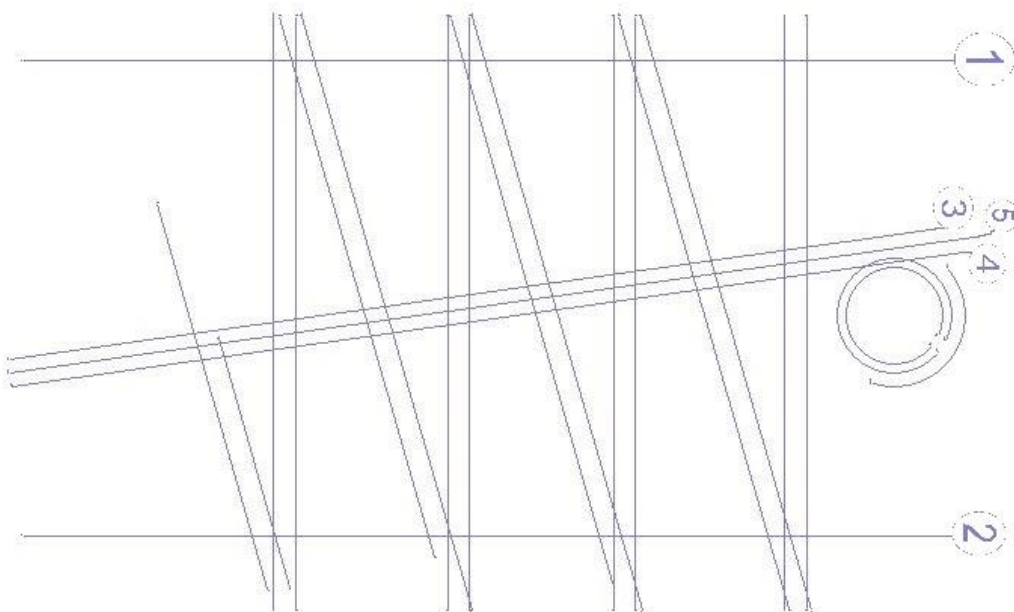
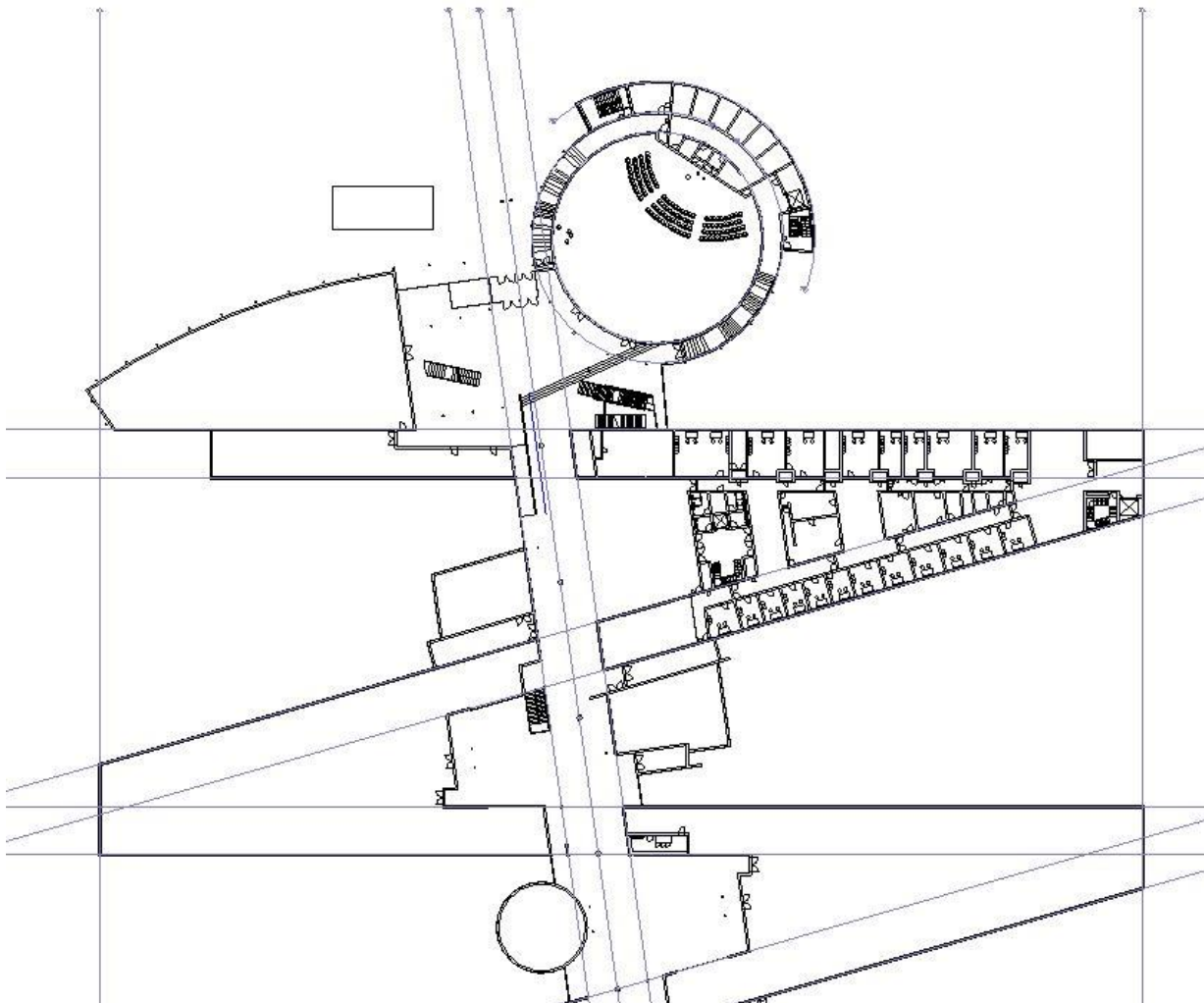


Abbildung 45: Raster, mit teilweiser Beschriftung

2. Schritt: Die Vorlage wurde entfernt. In Abbildung 45 sind nur die Rasterlinien zu sehen, auf denen aufbauend die Wände und anderen Elemente gezeichnet wurden. Die Linien werden automatisch durchnummeriert. Ein Teil der Nummerierungen ist in der Abbildung 45 beispielhaft dargestellt. In allen weiteren Abbildungen wurde darauf verzichtet, da sonst die Beschriftungen alles andere verdecken.

3. Schritt: Auf die Linien aus Abbildung 45 wurden nun die Wände gezeichnet. Um bei einer späteren Änderung des Rasters nicht alle Wände einzeln verschieben zu müssen, können die Wände an die Rasterlinien gebunden werden. Das heißt, sobald eine Rasterlinie verschoben wird, werden automatisch alle damit verbundenen Wände mitverschoben. In Abbildung 46 ist ein Teil des fertigen Erdgeschosses mit den zugehörigen Rasterlinien zu sehen.



**Abbildung 46: Ausschnitt EG, mit Rasterlinien**

Das im EG erzeugte Raster ist auch in allen anderen Gebäudeebenen zu sehen. Damit lassen sich die Vorlagen in den anderen Stockwerken leicht platzieren und skalieren, wodurch weitestgehend die Konsistenz der einzelnen Geschosse sichergestellt wird.

### 3.4 Renderings

Rendern beschreibt einen Vorgang zur Erzeugung von möglichst realistischen Bildern aus 3D Modellen. Dazu sind aufwendige Berechnungen mittels verschiedener Algorithmen notwendig. Es wird unter anderem berechnet was vom Betrachter aus sichtbar ist, den Oberflächen werden bestimmte Materialien zugeordnet und der Lichteinfall bzw. Lichtreflexe auf den Oberflächen werden bestimmt. In Autodesk Revit 2015 steht eine leistungsstarke Renderengine zur Verfügung, welche realitätsnahe Bilder aus dem 3D-Modell generiert. Voreingestellt sind fünf unterschiedliche Genauigkeitsstufen, „Entwurf“, „Niedrig“, „Mittel“, „Hoch“ und „Höchstmöglich“. Diese sind in Abbildung 47 dargestellt, von „Entwurf“ links bis „Höchstmöglich“ rechts. Die Rechenzeit die der Computer dafür benötigt betrug bei diesem Beispiel unter einer Minute bei der Qualitätsstufe „Entwurf“ und über eine Stunde mit der Einstellung „Höchstmöglich“.



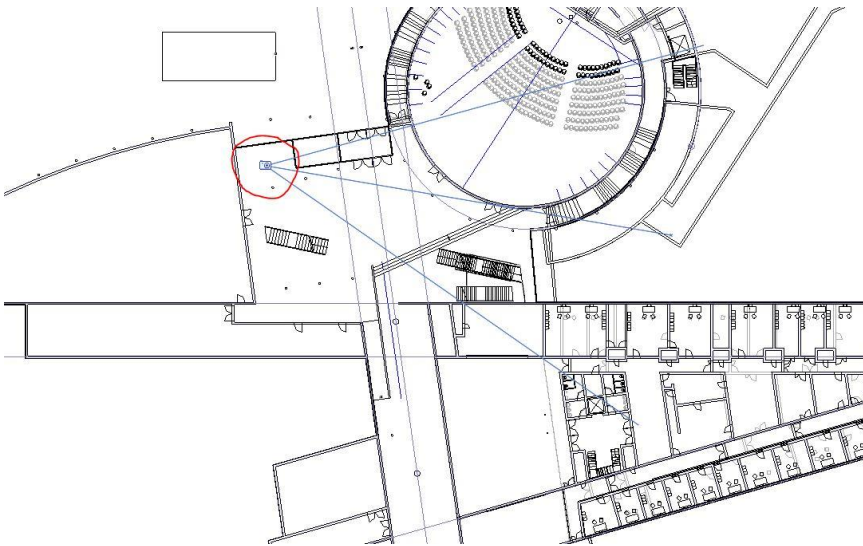
**Abbildung 47: Vergleich Qualitätsstufen Rendering**

Um eine gerenderte Ansicht zu erzeugen muss im ersten Schritt eine Kamera in einem Grundriss platziert werden. Mit dieser Kamera wird eine Ansicht des Modells aus einem bestimmten Blickwinkel erzeugt. Sobald man den passenden Bildausschnitt gefunden hat kann man unter dem Menüpunkt „Ansicht“ mit der Funktion „Rendern“ das Rendermenü öffnen. In diesem kann man verschiedene Einstellungen, wie oben genannte Qualitätsstufe oder die Beleuchtung variieren. Die Qualitätsstufen können zusätzlich zu den vordefinierten Standards auch noch benutzerspezifisch angepasst werden, um etwa die Reflexionen oder Schatten noch besser darzustellen. Man sollte dabei aber immer die Rechenleistung des Computers im Hinterkopf behalten, da ein zu hoher Detaillierungsgrad schnell eine Rechenzeit von mehreren Stunden bedeuten kann.



Nach dem abgeschlossenen Rendervorgang kann das entstandene Bild direkt im Revit-Projekt gespeichert werden, oder auch exportiert und als .JPG an einem beliebigen Ort gespeichert werden. Die folgenden Abbildungen zeigen den Rendervorgang Schritt für Schritt.

1. Schritt: Im Grundriss EG wird eine Kamera platziert. (Abbildung 48)



**Abbildung 48: Platzieren der Kamera**

2. Schritt: Durch das Platzieren der Kamera wird automatisch eine Ansicht erzeugt. Diese (Abbildung 49) kann über das Rendermenü noch in ihrer Darstellung optimiert werden.



**Abbildung 49: Durch die Kamera erzeugte Ansicht**

Das Ergebnis ist in Abbildung 50 dargestellt. Im Anhang befinden sich noch weitere gerenderte Ansichten.



**Abbildung 50: Gerenderte Ansicht der Eingangshalle**

Eine weitere Möglichkeit das Bauwerk zu visualisieren besteht im erzeugen sogenannter Walktroughs. Bei diesen handelt es sich im Prinzip um eine Anordnung der genannten Kameras auf einem 3-dimensionalen Pfad durch oder um das Gebäude. Die von den Kameras erzeugten Ansichten können nun zu einem Film aneinandergereiht werden, welcher über variable Einstellungen, wie die Anzeigedauer der einzelnen Bilder oder die Anzahl der Bilder, noch angepasst werden kann. Diesen Film kann man sich als virtuellen Gang oder Flug durch das Gebäude vorstellen. Je nach Qualität der Bilder ergibt sich zum Teil eine sehr hohe benötigte Rechnerleistung um die Filme halbwegs flüssig abspielen zu können. Hier gehört viel ausprobieren dazu um einen Kompromiss aus Qualität der Darstellung und flüssiger Wiedergabe zu finden.

### 3.5 Bekannte Ungenauigkeiten und mögliche Abhilfe

Ein Modell ist immer eine Reduzierung der Wirklichkeit auf das unbedingt notwendige Minimum. Dieses notwendige Minimum definiert sich durch die Anforderungen an das Modell. Will man sich nur einen groben Überblick über die Gesamtsituation auf einem Bauplatz verschaffen, reicht es zum Beispiel aus, die Gebäude als „Bauklötzchen“ darzustellen. Die „Bauklötzchen“ zeigen alles was notwendig ist: den ungefähren Standort der Gebäude, die groben Abmessungen und sie verschaffen einen ersten Eindruck der Umgebung. Soll das Modell aber für statische Berechnungen verwendet werden, wird ein deutlich höheres Maß an Exaktheit notwendig. Jetzt umfasst das notwendige Minimum Materialien, genaue Bauteilabmessungen, Unterzüge, Durchbrüche, bis hin zu einwirkenden Lasten und natürlich noch viel mehr. Diesen entscheidenden Punkt berücksichtigend, gibt es eigentlich kein falsches Modell, sondern nur ein nicht hinreichend genaues Modell, bzw. ein nicht auf die Anforderung passendes Modell. Um nun abschätzen zu können inwieweit ein Modell ausreicht, muss man in erster Linie zwei Fragen beantworten: Was möchte ich mit dem Modell machen? Welche Fehler/Ungenauigkeiten hat es?

Auf das vorliegende Modell des Gebäudes für Maschinenwesen bezogen, lassen sich die Fragen wie folgt beantworten. Die Nutzung dieses Modells wird einerseits daraus bestehen, in Zukunft ein komplettes Modell des Campus der TU München zu Visualisierungs-Zwecken zu haben, und andererseits um Fußgängersimulationen für Veranstaltungen im Gebäude durchführen zu können. Die Anforderungen die sich aus dem ersten Punkt ergeben, sind größtenteils optischer Natur. Das digitale Modell soll so ausschauen wie das Original. Hierbei kommt es weder auf eine absolute Genauigkeit der einzelnen Maße an, noch auf die verwendeten Materialien oder einzelne Details. Der zweite Punkt wiederum setzt zumindest für den bei der Fußgängersimulationen betrachteten Bereich eine im groben stimmige Maßgenauigkeit voraus. Elemente wie Türen, Säulen und auch Raumabmessungen sollte dem Original entsprechen, um die durch die Simulationen gewonnenen Erkenntnisse auch auf die Realität übertragen zu können.

Um den Fehler abschätzen zu können, muss man sich den Entstehungsprozess des Modells noch einmal vor Augen führen. Die größte Ungenauigkeit liegt in den äußerst ungünstigen Plänen die als Vorlage zur Verfügung standen. Die Pläne der einzelnen Gebäudeteile lagen in unterschiedlichen Skalierungen vor, der Maßstab stimmte nicht und manche Teile waren obendrein spiegelverkehrt abgebildet. Beim Zusammenfügen der einzelnen Pläne ergaben sich hier mit Sicherheit große Fehler in der Genauigkeit, da das Skalieren und Drehen bzw. Positionieren der einzelnen Pläne in einem Gesamtplan der einzelnen Stockwerke nur frei Hand geschah. Auch die Skalierung der Gesamtpläne anhand von einzelnen nachgemessenen Bauteilen, wie unter 1.1 beschrieben, ist kein allzu genaues Vorgehen. Beide Fehler ließen sich durch bessere Vorlagen, zum Beispiel digitale Pläne in einem in Revit importierbaren Format oder auch bemaßten Plänen in PDF ausschließen. Eine weitere Möglichkeit den Fehler zu verringern wäre vor Ort ein genaues Aufmaß zu erstellen um die ungenauen Planvorlagen damit zu ergänzen. Ein exaktes ausmessen der Geometrien vor Ort wäre aber, nur mit einem Laserentfernungsmesser, bei der Gebäudegröße eine Aufgabe für eine halbe Ewigkeit. Deshalb bietet sich diese zweite Möglichkeit nur als Notlösung an. Zusätzliche Ungenauigkeiten resultieren aus der mit Sicherheit nicht perfekten Kenntnis des Programmes und dem bewussten Weglassen von Details um das Modell in einem angemessenen Zeitrahmen



fertigstellen zu können. Wodurch man diese weiteren Ungenauigkeiten hätte vermeiden können erklärt sich von selbst, wobei sich durch eine bessere Kenntnis des Programmes mit Sicherheit die benötigte Zeit von alleine reduziert hätte.

In Hinblick auf die angedachte Nutzung des Modells, sollte die mit dem Modell erreichte Genauigkeit ausreichen. Für die Fußgängersimulation ist aber wahrscheinlich noch eine weitere Bearbeitung des Hauptganges nötig um noch mehr Details wie Messestände usw. hinzuzufügen.

In Abbildung 51 sind die Unstimmigkeiten zwischen den Plänen aus EG und 1.OG exemplarisch dargestellt. Auf der linken Seite sieht man die zu einem Gesamtplan zusammengeführten Pläne des Erdgeschosses, rechts dementsprechend das erste Obergeschoss. Das 1.OG wurde horizontal gespiegelt um den Unterschied besser sichtbar zu machen.

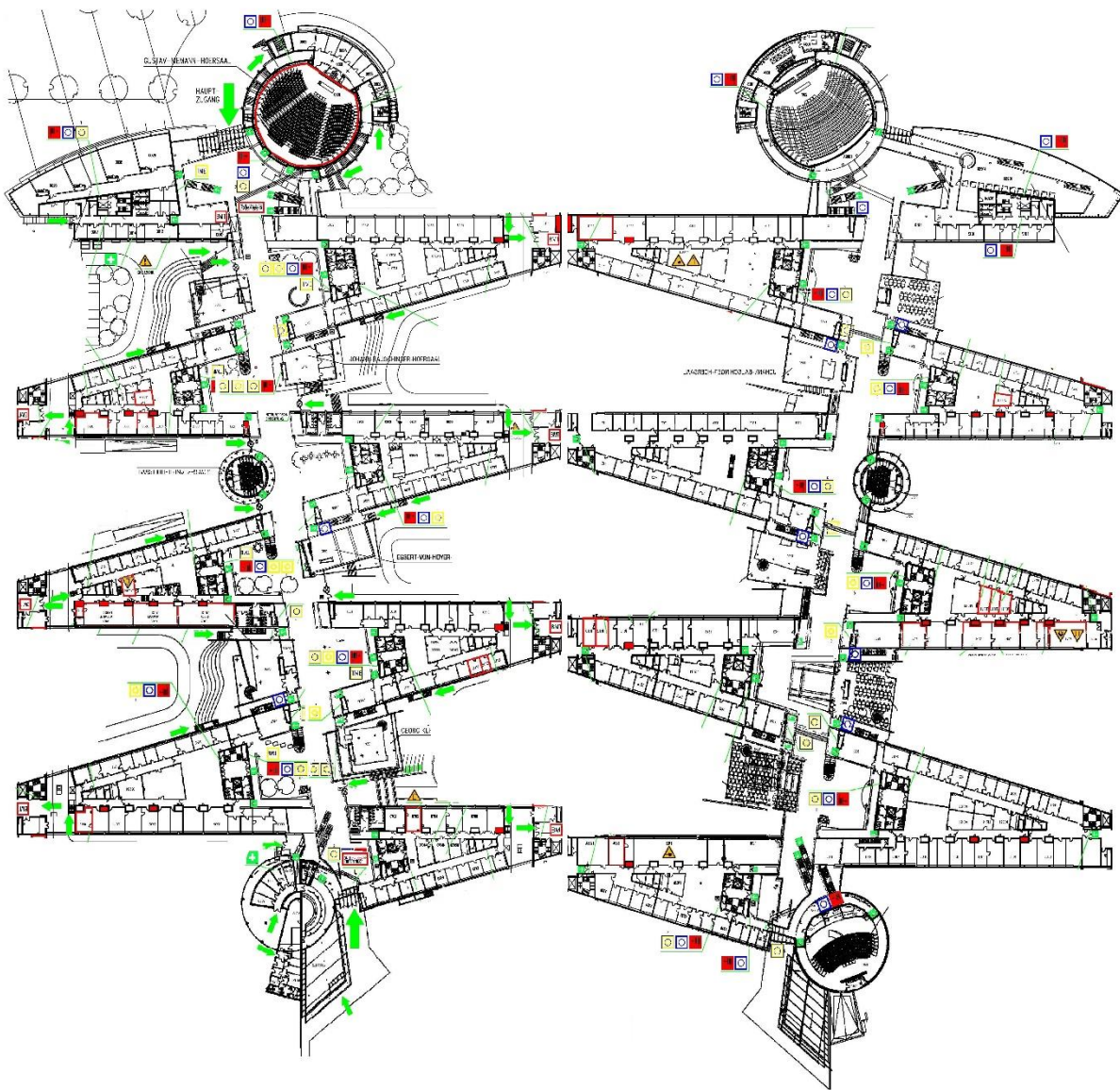


Abbildung 51: Vergleich EG – 1.OG



### 3.6 Datenaustausch am Beispiel Maschinenwesen

In Kapitel 1.1 wurde bereits die Bedeutung der Zusammenarbeit von verschiedenen Gewerken erläutert. Durch das gemeinsame Arbeiten an einem Modell mit Christian Hepf konnte ich verschiedene Möglichkeiten des Datenaustausches ausprobieren. Generell funktioniert das Aufteilen und wieder Zusammenfügen eines Modells mit Revit problemlos. Unter dem Menüpunkt „Einfügen“ findet man unterschiedliche Varianten. (Abbildung 52)



Abbildung 52: Menü "Einfügen"

Im linken Bereich finden sich die Funktionen „Revit verknüpfen“, „IFC verknüpfen“ und „CAD verknüpfen“, welche Daten nicht direkt importieren, sondern nur eine Verknüpfung zu externen Daten herstellen. Mit „Revit verknüpfen“ lassen sich Revit-Projekt-Dateien (RVT) einbinden, mit „IFC verknüpfen“ Industry Foundation Classes und unter „CAD verknüpfen“ hat man die Möglichkeit aus verschiedenen Dateiformaten anderer CAD Programme wie DWG, DXF, DNG, SAT und SKP auszuwählen. Zur Verdeutlichung der Unterschiede der einzelnen Dateiformate habe ich in das Gebäude 1 als IFC und DWG Datei exportiert. Anschließend habe ich in ein leeres Revit Projekt die ursprüngliche RVT Datei (links), die IFC Datei (Mitte) und die DWG Datei verknüpft.

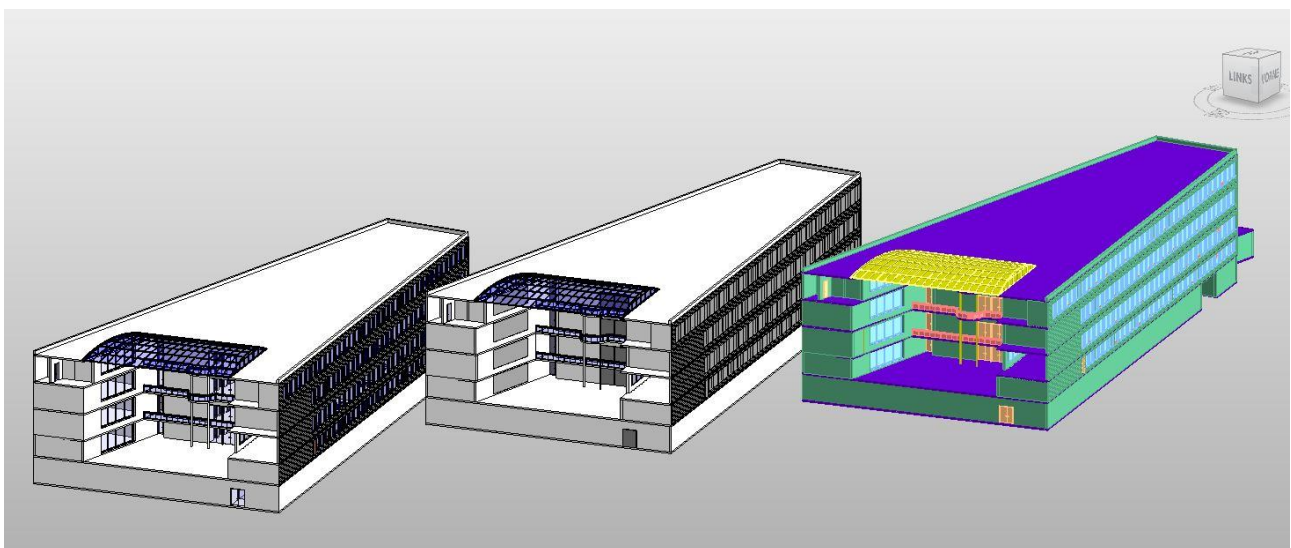


Abbildung 53: Vergleich RVT - IFC - DWG

In Abbildung 53 sieht man, dass das IFC Format das originale Modell sehr genau wiedergibt. Einzig die Fenster und Türen werden nicht mehr realistisch dargestellt, sondern nur noch als graue Flächen. Im Gegensatz dazu sieht man am DWG Modell deutlich, dass hier einiges an Information verloren geht. Die einzelnen Bauteile werden zwar farblich unterschiedlich gekennzeichnet, aber die realitätsnahe Darstellung des Revit Modells geht verloren.

Der große Vorteil von Verknüpfungen ist, dass die Datengröße des Gesamtmodells relativ klein bleibt und somit weniger Rechenleistung benötigt wird. Allerdings geht die Zuordnung bei Umbenennen oder Verschieben der Ursprungsdatei verloren. Um dieses Problem zu lösen können die Verknüpfungen von RVT und IFC Dateien an das Gesamtmodell gebunden werden, was dem Einfügen der Daten ins Gesamtmodell entspricht. Jetzt ist das Modell unabhängig von den Ursprungsdateien aber je nach Größe der eingebundenen Dateien kann die Arbeitsgeschwindigkeit jedoch beträchtlich sinken. CAD Dateien können nicht gebunden werden, aber über die separaten Funktion „CAD importieren“ komplett ins Modell integriert werden, mit denselben oben beschriebenen Folgen.

Außer den schon genannten Dateiformaten können in Revit auch Punktwolken, zum Beispiel aus 3D-Scan-Aufnahmen von Gebäuden importiert werden. Die Möglichkeit Bilder einzufügen wurde in Kapitel 1.1 bereits erläutert.

## 4 Ausblick in die Zukunft des Planens

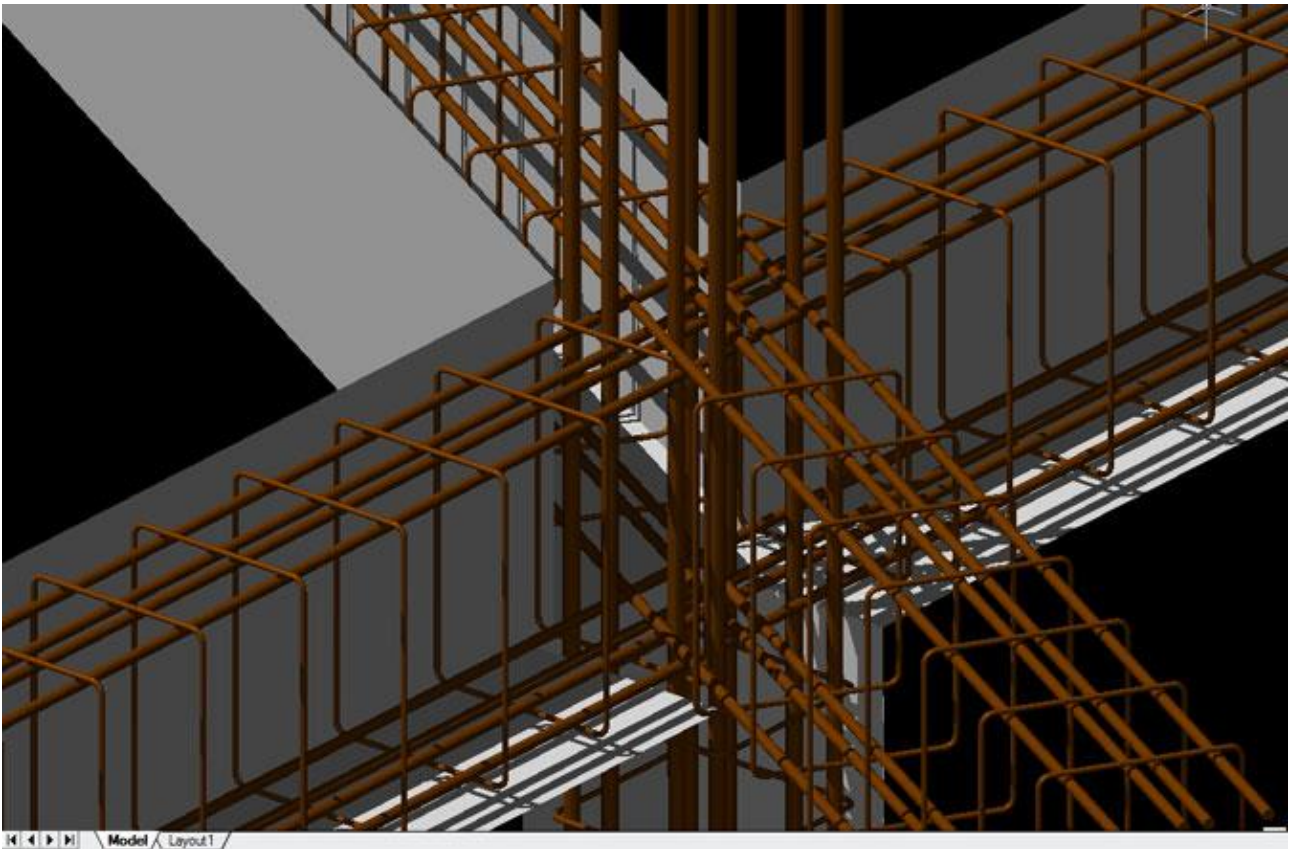
Eine Definition beschreibt das Planen als die geistige Vorwegnahme zukünftigen Handelns. Dieses zukünftige Handeln wird durch die steigenden technischen Möglichkeiten, man denke nur zum Beispiel an Ultra-Hochfeste-Betone oder gänzlich neue Materialien, einerseits, aber auch durch immer höhere Anforderungen an die Nachhaltigkeit andererseits, immer komplexer. Die Komplexität im Bauwesen hat sich im Laufe der Geschichte immer weiterentwickelt und dementsprechend ist auch die Art wie wir Planen einem stetigen Wandel unterworfen. Dieser Prozess ist noch längst nicht abgeschlossen.

Das Thema BIM bringt die Planung und auch die Ausführung im Bauwesen auf ein neues Level. Dabei entstehen viele neue Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen. Die großen Möglichkeiten zeigen sich zum Beispiel daran, dass der ganze Weg vom Aufkommen der Idee bis hin zum fertigen Gebäude einfacher, schneller, günstiger und auch weniger Fehleranfällig wird. Ein Zukunftsszenario könnte sein, dass sich der Handwerker auf der Baustelle ein komplexes Detail der Bewehrungsführung, wie zum Beispiel in Abbildung 54, auf dem Tablet in einem 3D-PDF Dokument anschauen kann. Er kann das Modell drehen, zoomen und verstehen wie er es umzusetzen hat. An diesem Zukunftsszenario werden die oben genannten Punkte deutlich:

- Einfacher: Ein 3D Modell ist leichter zu verstehen wie komplizierte 2D Bewehrungspläne.
- Schneller: Das Tablet oder Smartphone ist am Mann und sofort einsatzbereit, wohingegen der Polier der das Detail erklären könnte erst angerufen werden muss, möglicherweise sogar im Ingenieurbüro nachgefragt werden müsste, was deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt.
- Günstiger und weniger Fehleranfällig: Sollte die Bewehrung aufgrund eines nicht verstandenen Planes falsch eingebaut werden und es dadurch zu Schäden am Bauwerk kommen, ergeben sich schnell sehr hohe Kosten.

Nicht nur die Arbeit auf der Baustelle wird einfacher, ein Teil der Tätigkeiten verlagert sich sogar von der Baustelle weg. Durch die gegenüber traditioneller Planung deutlich erhöhte Genauigkeit wird es in Zukunft möglich sein, immer mehr Bauteile schon im Werk vorzufertigen. Dadurch werden die hohen körperlichen Belastungen für die Arbeiter im Bauwesen verringert, da im Werk unter deutlich angenehmeren Arbeitsbedingungen gefertigt werden kann.

Aber auch die Herausforderungen werden wachsen. Der unglaubliche Umfang des Themas BIM wird komplett neue Berufszweige entstehen lassen. Schon heute findet man Stellenausschreibungen wie „BIM Spezialist“ oder „BIM Applications Support Engineer“ (vgl. Eastman, Teichholz, Sacks, & Liston, 2011, S. 355). Es werden Spezialisten gebraucht werden, die die Möglichkeiten des mächtigen Werkzeuges BIM auch zu nutzen wissen, und vor allem andere Mitarbeiter in den Unternehmen schulen können. Natürlich werden an den Universitäten immer mehr Lehrveranstaltungen zum Thema BIM angeboten, aber woran es im Moment noch fehlt sind Ingenieure oder Architekten, die neben dem theoretischen Wissen über BIM auch gleichzeitig über Erfahrung in der Bauausführung verfügen.



**Abbildung 54: Komplexes Detail<sup>13</sup>**

Um die Möglichkeiten von BIM komplett ausschöpfen zu können, werden auch die Hersteller von Bauteilen in Zukunft mehr gefordert sein. Da die Planer ein realitätsnahes Modell, quasi „wie gebaut“, erstellen, werden sie auf von den Herstellern bereitgestellte digitale Bauteile wie Fenster, Betonfertigteile oder auch Einrichtungsgegenständen angewiesen sein. Für die Hersteller eröffnet sich eine neue Möglichkeit: Sie haben viel früher Einfluss auf den Planungsprozess und somit auch auf die Entscheidung der Planer für ihre Produkte.

In Zukunft wird es für alle am Bauwerk Beteiligten ein notwendiger Schritt sein, sich mehr und mehr mit der Thematik BIM auseinanderzusetzen. Das beginnt in der Ausbildung bzw. dem Studium und setzt sich bis zu bereits im Arbeitsleben stehenden Ingenieure, Architekten aber auch Bauhandwerkern fort. Building Information Modeling wird die Art Bauwerke zu planen und zu errichten definitiv verändern.

---

<sup>13</sup> Quelle: <http://www.bautab.de/ingenieur.htm> (abgerufen am 03.12.2014)

## 5 Literaturverzeichnis

- Binding, G. (1993). *Baubetrieb im Mittelalter*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Binding, G. (2010). *Bauen im Mittelalter*. Darmstadt: Primus Verlag.
- Durm, J. (1914). *Die Baukunst der Renaissance in Italien*, S.274. Leipzig.
- Eastman, C., Teichholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook - A Guide To Building Information Modeling*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Egger, M., Hausknecht, K., Liebich, T., & Przybylo, J. (2013). *BIM- Leitfaden für Deutschland*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung.
- Helten, L. (dispositio. Der Grundriss als Medium in der Architektur des Mittelalters 2005). Offene Fragen zum Grundriß als Medium in der Architektur des Mittelalters. *dispositio. Der Grundriss als Medium in der Architektur des Mittelalters, Hallesche Beiträge zur Kunstgeschichte, Heft 7*.
- Hepf, C. (2015). Analyse der BIM-Software Revit Architecture 2015 anhand der Modellierung des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen der TU München. *Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation, TU München*.
- Holzer, S. M. (2004). *Mittelalter: Bauen als Handwerk, "ars mechanica"*. München: Institut für Mathematik und Bauinformatik, Universität der Bundeswehr München.
- Kuehn Bauer Partner. (1997). Feuerwehreinsatzpläne.
- Wikipedia - Allplan*. (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Allplan> abgerufen
- Wikipedia - ArchiCAD*. (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/ArchiCAD> abgerufen
- Wikipedia - Autodesk*. (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Autodesk> abgerufen
- Wikipedia - Bentley Systems*. (3. Dezember 2014). Von [http://de.wikipedia.org/wiki/Bentley\\_Systems](http://de.wikipedia.org/wiki/Bentley_Systems) abgerufen
- Wikipedia - BIM*. (4. November 2014). Von [http://de.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling#cite\\_note-1](http://de.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling#cite_note-1) abgerufen
- Wikipedia - DXF*. (1. Dezember 2014). Von [http://de.wikipedia.org/wiki/Drawing\\_Interchange\\_Format](http://de.wikipedia.org/wiki/Drawing_Interchange_Format) abgerufen
- Wikipedia - Ingenieur*. (1. Dezember 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Ingenieur> abgerufen
- Wikipedia - Revit*. (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Revit> abgerufen



*Wikipedia - Tekla.* (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Tekla> abgerufen

*Wikipedia - Vectorworks.* (4. November 2014). Von <http://de.wikipedia.org/wiki/Vectorworks> abgerufen

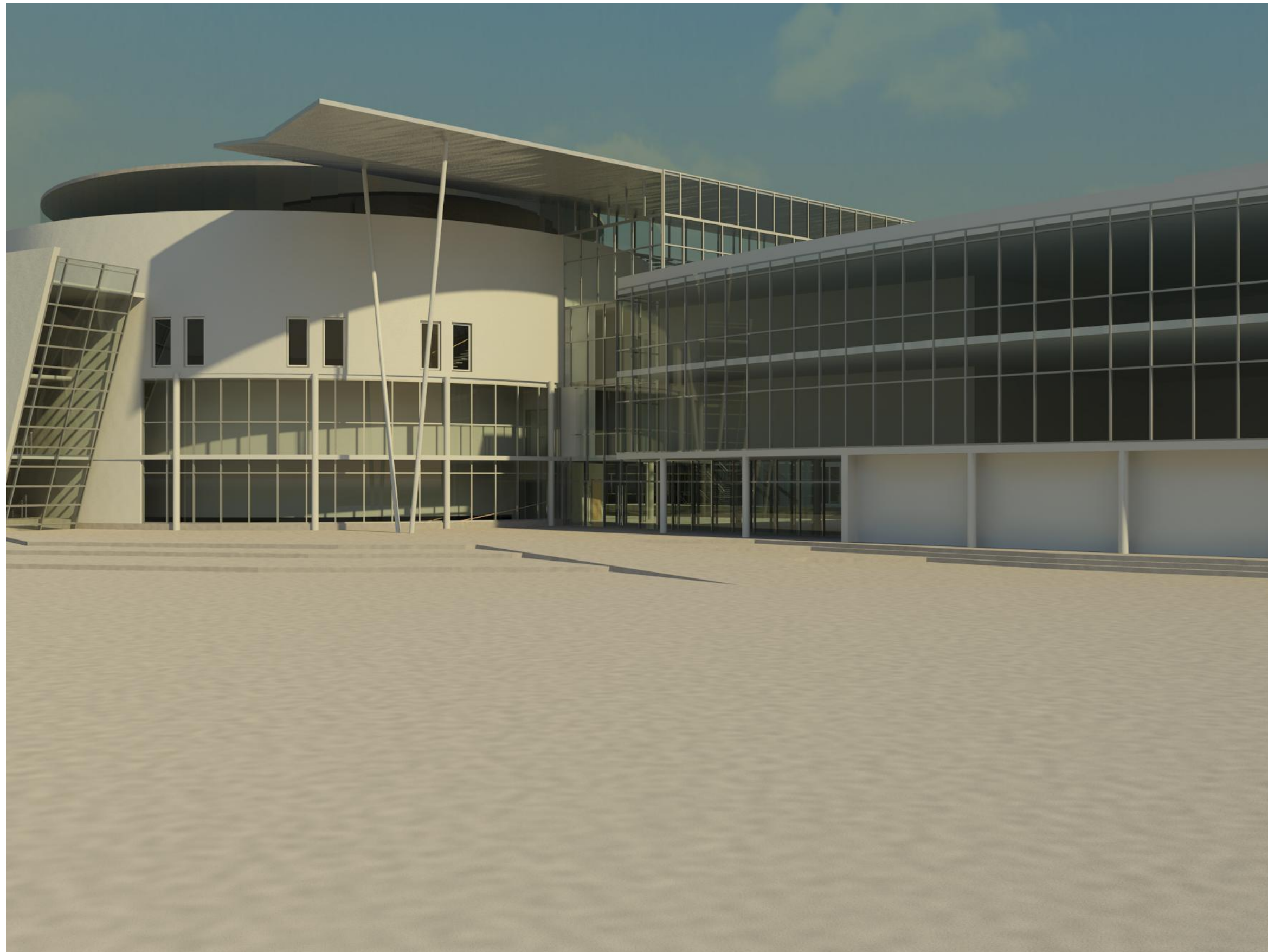
## **6 Anhang**

### **6.1 Anhang A - CD**

Es befinden sich folgende Daten auf der beigefügten CD:

- Revit Modell des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München
- Schriftlicher Teil der Arbeit als PDF, im Original und für die Veröffentlichung im Internet vorbereitet
- In Garching aufgenommen Fotos und Panoramaaufnahmen des Gebäudes der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München
- Gerenderte Ansichten und Walktroughts

## 6.2 Anhang B – Renderings



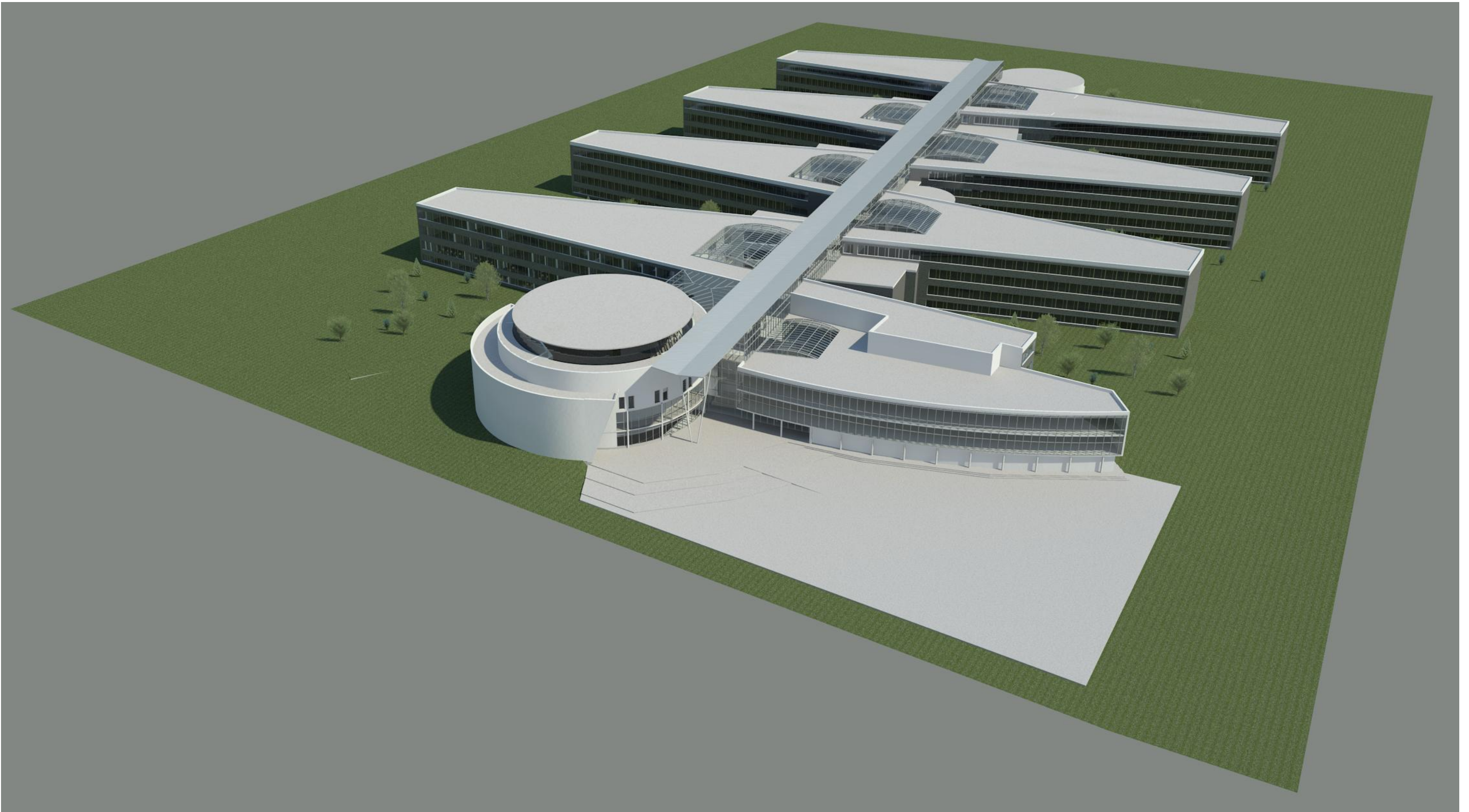




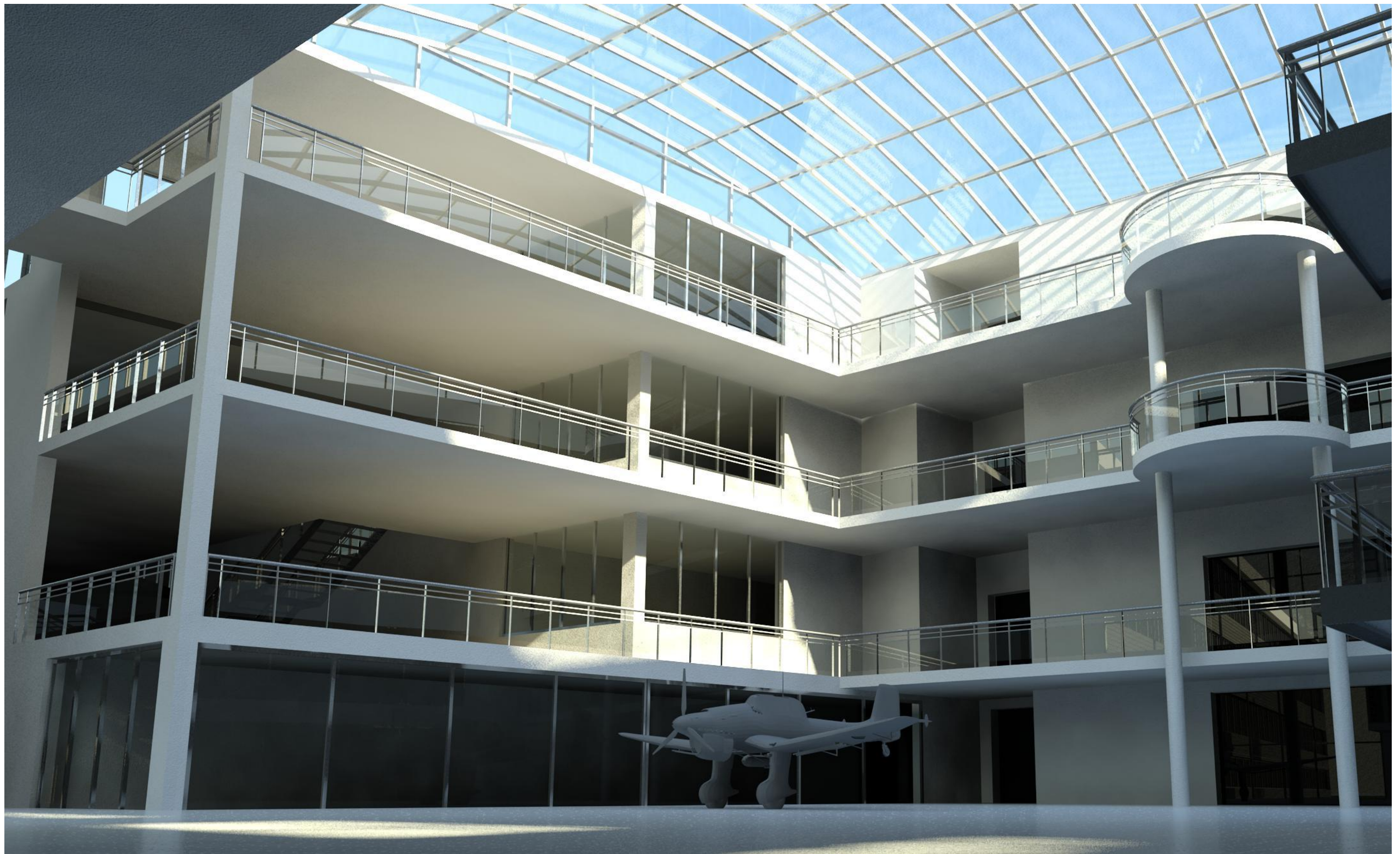














## **Selbständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....  
Albert Maximilian Meier

Tegernsee, 11. Dezember 2014