

Technische Universität München

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Erstellung digitaler Brückenmodelle - Vergleich von Revit und Allplan

Bachelorthesis

für den Bachelor of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor:	Ludwig Englert
Matrikelnummer:	xxxxxxx
1. Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. André Borrmann
2. Betreuer:	M. Sc. Simon Vilgertshofer
Ausgabedatum:	01. August 2021
Abgabedatum:	30. September

Abstract

Planning with BIM has been mandatory for the construction of infrastructure structures in Germany since the end of 2020. So that all the required information can be derived from such a model, the 3D model must already be reliably created. The programs Allplan and Revit are available for creating such models. However, these are not directly specialized in infrastructure, but are widespread in Germany and around the world. This work first examines what the requirements for a BIM model in the infrastructure area are and how these differ from normal building construction. The "Open BIM" principle and the client information requirements are also discussed. The main part is the comparison of Revit and Allplan with regard to the modeling of individual bridge parts. The modeling and representation methods as well as the subsequent modifiability of the components are examined. The parameterization of components and the assignment of attributes are also examined in more detail. Extracting data and analysis options are not the subject of this work.

Zusammenfassung

Das Planen mit BIM ist seit Ende 2020 für den Bau von Infrastrukturbauwerken in Deutschland vorgeschrieben. Damit alle benötigten Informationen aus so einem Modell abgeleitet werden können, muss bereits das 3D-Modell zuverlässig erstellt werden. Für die Modellerstellung stehen unter anderem die Programme Allplan und Revit zur Verfügung. Diese sind zwar nicht direkt auf Infrastruktur spezialisiert, aber in Deutschland und auch weltweit verbreitet. In dieser Arbeit wird zuerst untersucht, was die Anforderungen an ein BIM-Modell im Infrastrukturbereich sind und wie sich diese vom gewöhnlichen Hochbau unterscheiden. Es wird auch auf das Prinzip „Open BIM“ und die Auftraggeber-Informationsanforderungen eingegangen. Den Hauptteil bildet der Vergleich von Revit und Allplan hinsichtlich der Modellierung einzelner Brückenteile. Dabei werden die Modellierungs- und Darstellungsweisen, sowie die nachträgliche Modifizierbarkeit der Bauteile untersucht. Auch die Parametrisierung von Bauteilen und die Vergabe von Attributen wird näher betrachtet. Das Extrahieren von Daten und Analysemöglichkeiten sind nicht Thema dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einführung und Motivation	1
1.1 Einführung.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2 BIM – Building Information Modeling im Infrastrukturbereich	3
2.1 Begriffsdefinition BIM.....	3
2.2 Abgrenzung zu BIM im Hochbau.....	4
2.3 BIM-Anwendungen für Infrastrukturbauwerke.....	5
3 Anforderungen an BIM-Autorenwerkzeuge zur Brückenmodellierung	7
3.1 Planungsanforderungen.....	7
3.1.1 Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA).....	7
3.1.2 BIM-Abwicklungsplan (BAP).....	8
3.2 Modellanforderungen.....	8
3.2.1 Modellierung.....	8
3.2.2 Detaillierungsgrad.....	9
3.3 Datenaustausch.....	12
3.3.1 Open BIM.....	13
3.3.2 IFC.....	13
4 Vorstellung des Beispielmodells	16
5 Modellierungsvergleich zwischen Allplan und Revit	18
5.1 Vorstellung der zu vergleichenden Programme.....	18
5.1.1 Allplan 2021.....	18
5.1.2 Revit 2020.....	20

5.2	Vorbereitung der Modellierungsumgebung	21
5.3	Freie 3D-Modellierung	23
5.3.1	Extrusions- und Rotationsverfahren	24
5.3.2	Beispiel: Fundament – Erstellung eines beliebigen 3D-Körpers	26
5.3.3	Darstellungsweise	27
5.3.4	Beispiel: Widerlagerflügel – nachträgliche Modifizierbarkeit von Bauteilen	28
5.3.5	Beispiel: Kappe – Modellierung ohne Basisebene	30
5.4	Modellierung von Detailbauteilen	32
5.4.1	Starre Bauteile	32
5.4.2	Parametrische Bauteile	32
5.4.3	Beispiel: Abschlussprofil für Abdichtung	34
5.5	Eigenschaftensätze	38
5.6	Allplan Bridge und SOFiSTiK Bridge Modeler	39
5.7	Zusammenstellung des Vergleichs	40
6	Zusammenfassung und Fazit	41
	Literaturverzeichnis	43
	Anhang A	47
	Anhang B	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Schematische Vergleich der Beziehungsstruktur in einem Projekt ohne und mit BIM (Albrecht 2015, S. 21)	3
Abbildung 3.1 Veranschaulichung unterschiedlicher Detaillierungsstufen anhand von Schutzeinrichtung und Brückengeländer	11
Abbildung 3.2 Rendering eines Brückenmodells in Revit mit geringer Detaillierungsstufe.....	12
Abbildung 3.3 Verschiedene Modifizierungsmöglichkeiten von unterschiedlichen Darstellungsweisen in Allplan (Trzeciak 2018, S. 14).....	15
Abbildung 4.1 Modell des Beispielbauwerks in Revit.....	16
Abbildung 5.1 Die Allplan Bauwerksstruktur und der Ebenenmanager.....	19
Abbildung 5.2 Grundprinzipien des Extrusions- und Rotationsverfahren (Borrmann et al. 2015, S. 33).....	24
Abbildung 5.3 Modellierungsprozess am Beispiel eines Fundaments in Revit und Allplan	26
Abbildung 5.4 Richtzeichnung für Flügelwand mit Kappe (RIZ-ING, Flü 1)	28
Abbildung 5.5 Modellierung eines Flügels in Revit (links) mit einem Detail zum <i>Abzugskörper</i> und in Allplan (rechts) mit Detail zu fehlerhaftem <i>Loft</i>	29
Abbildung 5.6 Visualisierung des Entwicklungspfades der Kappe und der zugehörigen Arbeitsebene und das Ergebnis eines fehlgeschlagenen Versuches (Detail oben rechts).....	30
Abbildung 5.7 Parametrische Modellierung in Revit am Beispiel eines Geländer-Gitters	33
Abbildung 5.8 Detailzeichnung des Abschlussprofils (RIZ-ING, Abs 4).....	34
Abbildung 5.9 Darstellung der Parametrik in Revit inklusive der Formeln	36
Abbildung 5.10 Allplan SmartParts-Editor.....	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Erläuterung der einzelnen LOD und Zuordnung zu den Leistungsphasen der HOAI (AIA 2013) (Egger 2013)	10
Tabelle 5-1 Zusammenfassung der betrachteten Aspekte von Revit und Allplan.....	40

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AG	Auftraggeber
AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen
AN	Auftragnehmer
BAB	Bundesautobahn
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BIM	Building Information Modeling
BRep	Boundary Representation Methode
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
CSG	Construction Solid Geometry
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

z.B. zum Beispiel

1 Einführung und Motivation

Seit dem Beginn ihrer Existenz errichtet die Menschheit Infrastruktur. Früher waren es Trampelpfade, welche häufig begangene Routen erleichterten. Man nutze umgefallene Bäume, um über Flüsse hinweg zu kommen, ohne nass zu werden. Mit dem Erlernen neuer Technologien, der wachsenden Bevölkerung und dem aufkommenden Handel wurden in der Antike aus diesen Pfaden befestigte Straßen und die Baumeister versuchten sich an steinernen Brücken, welche teilweise bis heute überdauern. Heutzutage verlässt man sich nicht mehr nur auf die Erfahrungen seiner Vorgänger, sondern hat Zeichen- und Berechnungswerkzeuge, um immer größere Bauwerke zu errichten. Normen und Richtlinien bestimmen die Planung. Es wurden tausende Kilometer Eisenbahnschienen verlegt, kilometerlange Tunnel gegraben und Brücken mit mehreren hundert Metern Spannweite realisiert. Der neueste Schritt ist die Entwicklung weg von Handzeichnungen, hin zu komplexen 3D-Modellen, in denen alle benötigten Informationen auf einmal enthalten sind.

1.1 Einführung

Die Darstellung von Gebäuden über 3D-Modelle ist schon lange möglich und wird seitdem gerne genutzt, um ein Bauvorhaben oder einen Entwurf für Interessenten zu veranschaulichen. Doch bisher ist so ein Modell zusätzlich zu den Planungsunterlagen erstellt worden. Mit BIM ist es auch möglich beide Schritte zu kombinieren und die Übersichtlichkeit und Anschaulichkeit eines dreidimensionalen Objekts mit in die Planung zu integrieren. Aber statt einen 3D-Körper nur mit einer passenden Textur zu verkleiden, ist es auch möglich diesem Körper selbst die Information zu geben aus welchem Material er ist, welches Gewicht er hat, oder wie viel er kostet. Das Ziel ist es, in Zukunft für alle Zwecke, von der Planung, über die Ausführung, bis zur Instandhaltung ein einziges Modell zu haben, welches das gesamte Wissen über das Objekt vereint. Doch nach aktuellem Stand ist dazu noch kein Programm vollständig in der Lage (BIM4INFRA2020 2019d). Das gilt insbesondere für den Infrastrukturbereich, da hier mehrere Planungsprinzipien aufeinandertreffen. Während vor allem kürzere Brückenbauwerke dem Hochbau noch sehr ähnlich sind, unterscheidet sich die dazugehörige Straßenplanung deutlich. Dies führt zu einer Spezialisierung der Modellierungsprogramme, setzt aber auch dementsprechend spezialisiertes Personal voraus.

1.2 Ziel der Arbeit

Die zwei BIM-Modellierungsprogramme Allplan von Nemetschek und Autodesk Revit sind in Deutschland und weltweit verbreitet. Allerdings sind sie in ihrer Reinform, ohne Erweiterungen nicht direkt auf die Modellierung von Infrastruktur ausgelegt. Das Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, wie gut sich diese beiden Programme trotzdem dafür eignen, denn jede weitere Spezialsoftware benötigt wiederum geschultes Personal und birgt zusätzliche Risiken bei der Kommunikation und beim Datenaustausch. Der Fokus soll dabei auf kleineren Brückenbauwerken liegen, wie sie im deutschen Straßennetz häufig vorkommen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zunächst soll der Begriff BIM im Hinblick auf Infrastrukturbauwerke definiert werden. Anschließend wird auf generelle Anforderungen an die Brückenmodellierung mittels BIM eingegangen. Dabei wird berücksichtigt, dass es sich dabei meist um öffentliche Bauvorhaben handelt. Im fünften Kapitel werden die Programme Revit und Allplan anhand eines Beispielmodells miteinander verglichen und anschließend wird ein Fazit gezogen, wie weit sich diese Programme für die Modellierung von Brücken eignen.

2 BIM – Building Information Modeling im Infrastrukturbereich

2.1 Begriffsdefinition BIM

Building Information Modeling beschreibt sowohl eine Modellierungsweise als auch den dazugehörigen Planungs- und Verwaltungsprozess. Das Kernkonzept ist die Beschreibung eines Bauwerks über Bauwerksinformationsmodelle (Building Information Models) von dem ersten Entwurf, über den Lebenszyklus, bis zum Rückbau. Diese Modelle sollen die Informationen aus Planung, Verwaltung und Analyse bündeln und die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen den beteiligten Akteuren erleichtern (Albrecht 2015). Die Idealvorstellung ist, dass zwischen allen Projektbeteiligten nur noch ein widerspruchsfreier Datensatz übergeben wird. Dadurch lassen sich Fehler durch inkonsistente Planunterlagen und Informationsverluste bei stetigem Austausch vermeiden bzw. reduzieren.

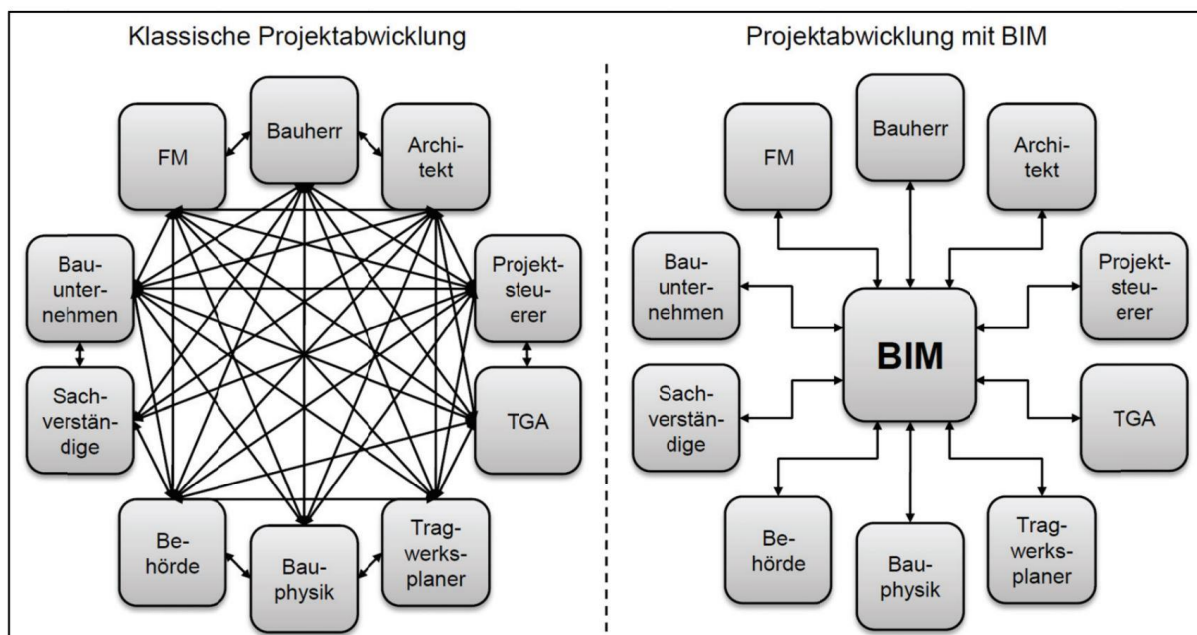


Abbildung 2.1 Schematischer Vergleich der Beziehungsstruktur in einem Projekt ohne und mit BIM (Albrecht 2015, S. 21)

BIM ist kein starrer Prozess und sollte stets an die Anforderungen des Auftraggebers angepasst werden bzw. der Nutzen maximiert werden (Shepherd 2015). Das heißt

dass sich einzelne BIM-Projekte und die darin erstellten Modelle hinsichtlich ihres Aufwands und ihrer Qualität unterscheiden können.

Charakteristisch für ein BIM-Modell ist:

- dass reale Bauteile durch digitale Objekte dargestellt werden, welche hinsichtlich ihrer räumlichen, physikalischen und sonstigen Eigenschaften eindeutig zueinander zuordbar und berechenbar sind.
- dass Elemente von der Software inklusive ihrer Eigenschaften interpretiert und auch (parametrisch) modifiziert werden können.
- dass Bauteile Informationen beinhalten, welche für Analysezwecke und Berechnungen genutzt werden können
- dass Informationen konsistent und nicht redundant gespeichert werden, sodass Objekte jederzeit und in jeder Ansicht modifiziert und widerspruchsfrei dargestellt werden können. (Sacks et al. 2018)

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf die Erstellung von Modellen von der Planungsphase bis zum Übergang in die Nutzungsphase.

2.2 Abgrenzung zu BIM im Hochbau

Im Hochbau entstehen Gebäude dort, wo es hinsichtlich ihrer Lage, Bedarf, Bau- und Lebenszykluskosten am wirtschaftlichsten ist. Die Bauwerke können bezüglich ihrer Ausdehnung meist als punktförmig und relativ unabhängig zu ihrer angrenzenden Umwelt betrachtet werden. Infrastruktur ist jedoch als linienförmig oder netzartig anzusehen. Ein Verkehrsweg entsteht nicht dort, wo er günstig zu realisieren ist, sondern wo Nachfrage zwischen Knoten (vereinfacht z.B. Regionen, Siedlungen oder Verknüpfungspunkte zu anderer Infrastruktur) im Netz besteht. Dies hat zur Folge, dass man nicht auf einem ebenen Grundstück bauen kann, wie man es will, ohne die Umgebung weiter zu berücksichtigen. Es müssen bei der Trassierung das Gelände, angrenzende Nutzflächen (Siedlungen, Schutzflächen, etc.), bereits vorhandene Infrastruktur und weitere Faktoren berücksichtigt werden, welche im Hochbau durch die „freie“ Standortwahl umgangen werden können. Es ist meist notwendig mehrere Trassen mit teils weiträumig unterschiedlichen Verläufen zu untersuchen. Wenn eine geländenahe Trassierung nicht mehr möglich ist, werden Infrastrukturbauwerke (Brücken, Tunnel, Stützbauwerke, etc.) benötigt. Im Gegensatz zum Hochbau sind diese nicht an Grundstücksgrenzen gebunden, sondern sind weitestgehend dem Trassenverlauf untergeordnet und verlaufen ebenso linienförmig. (Geißler 2014)

Somit verschieben sich auch die Prioritäten bei der Nutzung von BIM. Es ist hier nicht nur wichtig, zwischen den einzelnen Gewerken, die am Bauwerk beteiligt sind zu kommunizieren, sondern es ist auch nötig, dass eine Rückkopplung mit den Planern der Trasse stattfindet. Dabei müssen auch die Modelle ausgetauscht und diese, oder zumindest Daten daraus, miteinander kombiniert werden können. Das erfordert eine Absprache bei der verwendeten Software und den Datenstrukturen (siehe in Kapitel 3). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass Infrastrukturbauwerke für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren geplant werden (Hochbau im Vergleich: 50 Jahre) (DIN EN 1990). Ebenso unterscheiden sich die Modellierung und die Anforderungen. Für Brückenbauwerke und Tunnel ist es beispielsweise nicht notwendig bauphysikalische Analysen, wie Auswertungen von Wärmedämmeigenschaften durchzuführen, wie es im Wohnungsbau sinnvoll ist. Statt parametrischen Abhängigkeiten von Geschossen und der Koordination von wiederkehrenden Bauteilen und Bauteilgruppen (z.B. Sanitäreanlagen) über diese hinweg, liegt der Fokus bei Infrastrukturbauwerken auf Abhängigkeiten und Regelmäßigkeiten über die Länge des Bauwerks. Dazu zählen (konstante) Brücken- und Tunnelquerschnitte, welche entlang der Trassierungsachse entwickelt werden und standardisierte Bauteile, wie Straßeneinrichtung.

2.3 BIM-Anwendungen für Infrastrukturbauwerke

Neben den klassischen Anwendungsfällen wie Planung und Baudokumentation, wird BIM im Brückenbau auch für weitere Zwecke verwendet. Dazu gehören die Bestandserfassung und Variantenuntersuchung (BIM4INFRA2020 2019c). Da es kein vorgegebenes Grundstück gibt, sondern entlang einer Trasse geplant wird, müssen üblicherweise für diese und damit auch für die Bauwerke mehrere Varianten geprüft werden, oder bei Ersatzneubau oder Erweiterung die gesamte bereits vorhandene Infrastruktur mitberücksichtigt werden. Die BIM-Modellierung erleichtert hier die Visualisierung und reduziert das Risiko von Ungenauigkeiten. Die Modelle können außerdem für folgende Planungsschritte weiterverwendet werden.

Wenn an vorhandenen Verkehrswegen gebaut wird, dann sollen diese während den Baumaßnahmen häufig (mit Einschränkungen) befahrbar bleiben. Das erfordert wiederum besondere Koordinationsmaßnahmen bei der Planung der Ausführung. Aber eine präzise Planung der Baustellenlogistik und die Zeitplanung sind ebenso wichtige Faktoren, welche ebenfalls über BIM abgewickelt werden können. (BIM4INFRA2020 2019c)

Anschließend kann BIM auch bei der Instandhaltung und Bauwerksüberwachung genutzt werden. Dabei werden z.B. Sensor-Daten oder Schadensdokumentationen direkt mit einem digitalen Brückenmodell verknüpft und visualisiert (König et al. 2016). Dabei können auch BIM-Modelle für Bauwerke erstellt werden, welche noch konventionell geplant wurden.

Da Brücken keine unabhängigen Bauwerke sind, sondern immer mindestens ein Verkehrsweg dazu gehört, kann auch hier BIM zur Verknüpfung und zum Austausch von Plänen und Daten genutzt werden (König et al. 2016).

Weitere Anwendungsfälle und ausführlichere Beschreibungen dieser sind z.B. in den Handreichungen der Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 zu finden, welche zuvor bereits zitiert wurden.

3 Anforderungen an BIM-Autorenwerkzeuge zur Brückenmodellierung

Seit Ende 2020 ist die Planung mit BIM im öffentlichen Infrastrukturbereich in Deutschland vorgeschrieben (Kompetenzzentrum Planen und Bauen 2020). Neben der Umstellung von 2D-Zeichnungen auf 3D-Modelle sind auch die Verträge und Koordinierungsmethoden anzupassen.

3.1 Planungsanforderungen

Um ein nutzbares Modell zu erzeugen, sollte vorher genau festgehalten werden, was der endgültige Zweck des Modells ist und welche Informationen dafür benötigt werden. Neben einer ständigen Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten sind daher auch eindeutige Verträge notwendig.

Deshalb gibt es neben den üblichen Verträgen für Bau- und Planungsleistungen im BIM-Bereich auch die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und den BIM-Abwicklungsplan (BAP).

3.1.1 Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)

In den AIA werden die Anforderungen des Auftraggebers (AG) an das Modell beschrieben, welche der Auftragnehmer (AN) zu erfüllen hat. Dabei sind ausschließlich informations- und inhaltsbezogene Kriterien aufzustellen (BIM4INFRA2020 2019a). Eine genauere Beschreibung von Vorgehensweisen, oder eine Festlegung auf einzelne Programme sollte im Sinne der Wettbewerbsfreiheit vermieden werden. Die Menge an Informationen, welche in den AIA festgehalten wird kann variieren. Je genauer das Projekt beschrieben wird, desto weniger Spielraum hat der AN bei der Erstellung und Abweichungen vom Wunsch-Ergebnis werden minimiert. Legt man nur einen funktionalen Rahmen fest und lässt den AN ein Umsetzungsvorschlag erstellen, hat der AG einen geringeren Aufwand, jedoch damit auch eine geringere Kontrolle über das Endprodukt (BIM4INFRA2020 2019a).

Zudem ist für jedes Projekt einzeln zu entscheiden, wie viele und auch welche Details und Informationen in welcher Planungsphase benötigt werden. Die Datenmenge sollte genau auf das reduziert werden, was wirklich benötigt wird, um die Verarbeitbarkeit zu

gewährleisten und unnötige Arbeitsschritte zu vermeiden. Ein stetiger Austausch zwischen AG und AN ist deshalb stets erforderlich. Der AN sollte dabei auch ein Mitspracherecht haben und die Anforderungen seitens des AG prüfen und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge einbringen. (Roberti 2021)

3.1.2 BIM-Abwicklungsplan (BAP)

Der BIM-Abwicklungsplan ist kein fester Teil der Vergabeverträge, sondern regelt die Umsetzung des Projekts und wird während der einzelnen Projektphasen fortgeschrieben (BIM4INFRA2020 2019b). Der BAP soll ein Fahrplan sein, in dem sowohl Projektziele und Termine festgehalten werden als auch Kommunikationswege, Zuständigkeiten und Umsetzungsmethoden (Roberti 2021). Es wird dort z.B. festgelegt, wie und wann der Datenaustausch zwischen den einzelnen Parteien erfolgt, wer welche Software verwendet und wie die Datenstruktur aussehen muss, damit alle erfolgreich auf diese Daten zugreifen können.

Ein weiterer wichtiger Punkt in dieser Vereinbarung sind Bezeichnungskonventionen für Bauteile und eindeutige Definitionen wichtiger Fachbegriffe, um Missverständnisse zu vermeiden (Roberti 2021). Diese Regeln können auch bereits in den AIA festgelegt werden, aber der BAP hat diesbezüglich den Vorteil, dass er einfacher während des Projektbetrieb ergänzt werden kann.

Welche Information wohin kommt, lässt sich grob so einteilen: Alles was für den AG als Projektergebnis gefordert wird, oder anderweitig unverhandelbar ist, kommt in die AIA und alles, was der Koordinierung der Umsetzung dient und auf der Kommunikation der Projektparteien basiert, in den BAP. Somit kann es auch sein, dass der AG in den AIA eine Detailierungstiefe vorgibt, aber im BAP Ausnahmen und Konkretisierungen vereinbart werden. Dadurch können auch kurzfristige Erkenntnisse aus dem Projektverlauf direkt berücksichtigt werden (BIM4INFRA2020 2019b).

3.2 Modellanforderungen

3.2.1 Modellierung

Die Modellierungsweise und -menge ist abhängig vom Verwendungszweck des späteren Modells. Das heißt, dass sich von Projekt zu Projekt die Anforderungen ändern

können und damit auch der Detaillierungsgrad und wie viel überhaupt modelliert werden muss. Ist z.B. ein Gebäudemodell für die Simulation der Raumbelichtung gefordert, so ist es notwendig neben dem Gebäude auch die Inneneinrichtung zu modellieren. Für die Erstellung von Ausführungsplänen für den Rohbau wäre diese aber wiederum nicht relevant. Je nach Anforderung wird dann ein passendes Modellierungsprogramm mit der entsprechenden Spezialisierung gewählt.

Die Anforderungsbereiche lassen sich im Brückenbau z.B. in folgende Kategorien unterteilen:

- Brückenrohbau (Tragwerk, Widerlager, Fundamente, ...)
- Brückeneinrichtung (Anker, Messpunkte, Geländer, Lärmschutz, ...)
- Verkehrswege und deren Einrichtung (Straßenoberbau, Rückhalteeinrichtungen, ...)
- Gelände
- Umgebung (Vegetation, Gebäude, Wege, ...)

Abhängig davon, welche Planungsphase, oder welcher Verwendungszweck vorliegt, werden diese einzelnen Bereiche unterschiedlich stark berücksichtigt. Bei Voruntersuchungen sind vor allem die Umgebung und das Gelände relevant. Wenn die Trassierung und der genaue Bauort festgelegt sind, können vom Bauort weiter entfernte Teile davon wieder vernachlässigt werden. Für die Konstruktion des Tragwerks ist das Gelände weniger relevant als für die Widerlager. Wenn man nur an der Gesamtplanung der Trasse interessiert ist, dann ist eine Berücksichtigung von Brückeneinrichtung nicht nützlich. Die Form und Lage der Brücke ist dafür ausreichend. Es gilt die Dateien so klein wie möglich zu halten, um Speicherplatz und Rechenleistung zu sparen.

3.2.2 Detaillierungsgrad

Neben den zu modellierenden Objekten ist auch deren Detailgrad stets an die aktuellen Anforderungen anzupassen. Bei der konventionellen Planung werden die Detaillierungsstufen an die Leistungsphasen der HOAI geknüpft (Geißler 2014).

Im BIM-Bereich bestehen diese Stufen jedoch nicht aus Maßstäben, sondern es wird eine Einteilung in LOD-Stufen (Level of Development) vorgenommen. Diese wurden vom American Institute of Architects entwickelt und werden international eingesetzt. Sie beschreiben, wie fein ein Objekt im Modell mindestens ausgearbeitet werden soll.

Diese Detaillierungsstufen lassen sich auf die deutschen Leistungsphasen übertragen.
(AIA 2013)

Tabelle 3-1 Erläuterung der einzelnen LOD und Zuordnung zu den Leistungsphasen der HOAI (AIA 2013) (Egger 2013)

LOD	Beschreibung	Leistungsphase
100	<ul style="list-style-type: none"> - Wesentliche Strukturen sind in ihren äußeren Abmessungen vorhanden. 	Vorentwurfsplanung
200	<ul style="list-style-type: none"> - Typgerechte Modellierung und Bezeichnung aller Modellelemente. - Bereits korrekte Klassifizierung und Benennung. - Alle Objekte näherungsweise modelliert. 	Entwurfsplanung
300	<ul style="list-style-type: none"> - Objekte entsprechen ihren endgültigen Maßen. - Informationen über Lage, Menge und Form wird hinzugefügt. - Erste Mengenkalkulationen sind möglich. 	Genehmigungsplanung
400	<ul style="list-style-type: none"> - Endgültige Ausarbeitung der Objekte für Ausführungspläne. - Alle Informationen zur Errichtung und Abrechnung vorhanden. - Auch Montageanleitungen und Hersteller-richtlinien können verknüpft werden 	Ausführungsplanung
500	<ul style="list-style-type: none"> - Detaillierungsgrad wie LOD 400. - Basiert auf umgesetzten Ausführungsplänen und der Baudokumentation. - Spiegelt realen Gebäudezustand wider. - „as-built“-Modell 	Bestandsdokumentation

Diese Verknüpfung ist jedoch nicht fest und es kann zu Abweichungen kommen. So kann in bestimmten Fachbereichen oder bei besonderen Vereinbarungen auch schon in früheren Leistungsphasen ein höheres LOD gefordert werden (Egger 2013). Umgekehrt müssen aber auch nicht alle Bauteile immer auf die angestrebte Detailstufe gebracht werden, wenn es nicht zwingend erforderlich ist (AIA 2013). Auch Zwischenstufen wie LOD 350 sind möglich, um Anforderungen präziser umzusetzen (König et al. 2016).

In der untenstehenden Abbildung sind die Modelle eines Brückengeländers und eines Fahrzeugrückhaltesystems zu sehen. Die Ausarbeitung des Geländers entspricht etwa LOD 500, weil es sich dabei um ein „as-built“-Modell der Brücke handelt. Da die Rückhalteeinrichtung aber zur Straßeneinrichtung und damit einem anderen Gewerk gehört und für den Brückenbau nicht weiter relevant ist, wurde sie nicht über die Stufe LOD 200 hinaus modelliert (linker grauer Kasten hinter Geländer, Rechteckquerschnitt). Sie beinhaltet jedoch die Information, um welchen Typ es sich handelt und ist nach AIA-Vorgabe beschriftet und klassifiziert. Auch die einzuhaltenden Mindestabstände werden durch den Platzhalter korrekt abgebildet.

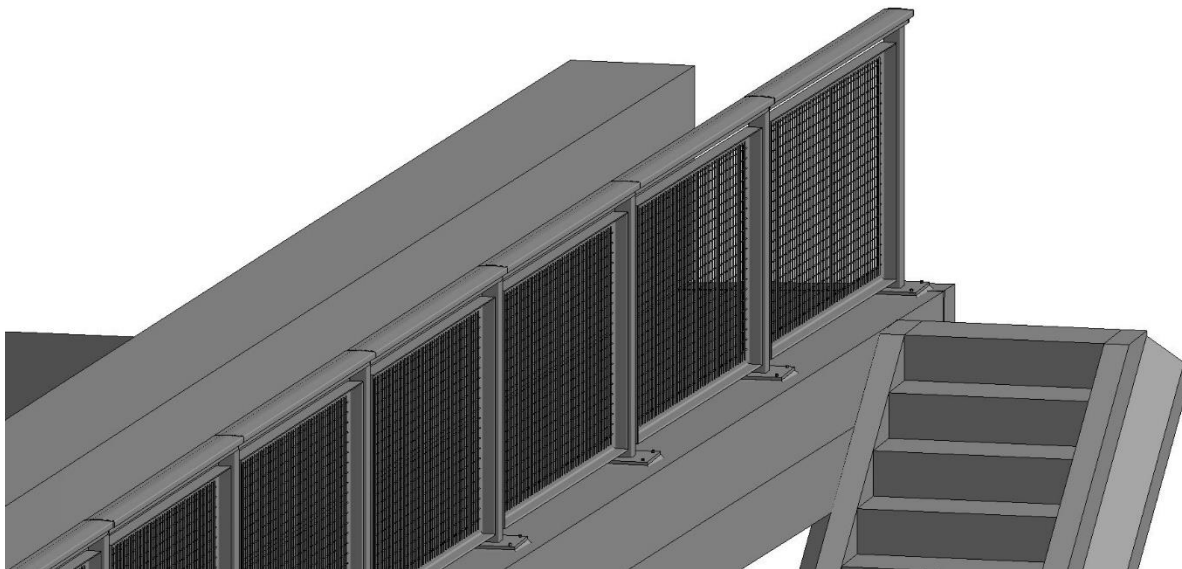


Abbildung 3.1 Veranschaulichung unterschiedlicher Detailierungsstufen anhand von Schutzeinrichtung und Brückengeländer

Ein Beispiel dafür, dass es auch sinnvoll sein kann Modelle nicht vollständig detailliert zu modellieren ist folgendes Brückenmodell (Abbildung 3.2). Die Anforderung war ein-

zig eine Identifizierbarkeit der wichtigsten Bauteile für Dokumentationszwecke. Deshalb sind alle Bauteile nur grob dargestellt und kleine Bauteile wie Messpunkte gar nicht modelliert. Die Lärmschutzwand wurde auch nicht über die Brücke hinaus fortgeführt und als ein durchgehendes Objekt modelliert (statt Träger und Zwischenelemente). Auch auf die Modellierung von Vegetation und Straßeneinrichtung wurde ebenfalls verzichtet und Straßen und Gelände nur als Orientierungsreferenz dargestellt. Als Entwicklungsstand kann man LOD 100 bis 200 angeben. Eine höhere Genauigkeit bei der Modellierung wäre nicht nötig und führt zu einer größeren Datenmenge. Es geht bei diesem Modell ausschließlich darum Informationen zuordnen zu können.

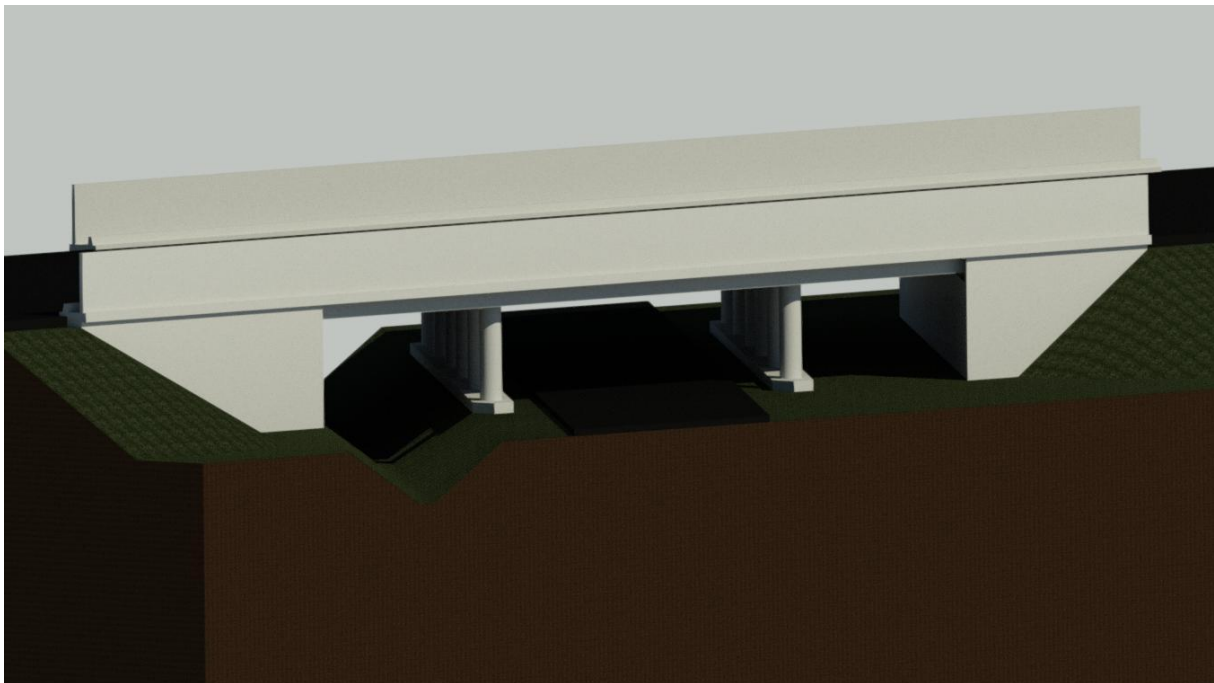


Abbildung 3.2 Rendering eines Brückenmodells in Revit mit geringer Detaillierungsstufe

Dieses Beispiel zeigt, dass die Anforderungen an die Modellierung nicht im Verhältnis zu den Informationsanforderungen stehen müssen. Deshalb werden die LOD auch weiter in LOG (Level of Geometry) und LOI (Level of Information) unterteilt, um eine differenziertere Beschreibung zu ermöglichen (BIM4INFRA2020 2019b).

3.3 Datenaustausch

Da jede Modellierungssoftware ihre eigenen Datenformate besitzt, muss entweder konsistent dieses Programm verwendet werden, oder andere Software, welche diese Dateien lesen kann. Dies führt aber zu (langfristigen) Abhängigkeiten von einzelnen

Anbietern, oder im schlimmsten Fall auch speziellen Software-Versionen und kann Firmen, welche mit anderen Programmen arbeiten von der Vergabe eines Projekts ausschließen. Nach VOB/A §7 Abs. 2 ist dies aber nur in Ausnahmefällen zulässig. Deshalb sind gemeinsame Datenaustauschformate notwendig, welche von jedem geeigneten Programm gelesen werden können und das auch ohne Übertragungsfehler und mit einer langfristigen Lesbarkeitsgarantie.

3.3.1 Open BIM

Das Prinzip *Open BIM* ist ein Lösungsansatz für das zuvor beschriebene Problem der Datennutzbarkeit und Marktneutralität. Dabei wird auf neutrale Datenformate gesetzt, welche unabhängig von den Softwareherstellern entwickelt und verwaltet werden (buildingSMART International 2021). Dadurch wird garantiert, dass jeder Projektbeteiligte mit seiner präferierten Software arbeiten kann, aber sämtliche anderen Beteiligten die Modelle korrekt lesen und importieren können. Auch das Problem, dass sich herstellereigene Dateiformate über Versionen hinweg ändern können, wird damit umgangen. Weil es noch keine BIM-Software oder Software-Verbund gibt, die alle möglichen Spezialisierungen und Anwendungsfälle abdeckt (BIM4INFRA2020 2019d), sind solche Formate sogar nötig.

Da derartige Formate auf eine generelle Nutzbarkeit ausgelegt sind und es auch von allen Programmen aus möglich sein soll, in dieses Format zu exportieren und auch wieder zu importieren, kann es zu Informationsverlusten bei der Reduzierung auf eine gemeinsame Basis kommen. Auch bei der Interpretation von Objekt-Geometrien kann es zu Unterschieden kommen. Dazu wird im folgenden Kapitel miteingegangen.

3.3.2 IFC

Eines der am weitesten verbreiteten neutralen Austauschformate ist *IFC*. Die *Industry Foundation Classes* wurden entwickelt, um Modelle von Gebäuden und deren Umfeld standardisiert beschreiben zu können (buildingSMART International 2019). Dieses Datenschema ist international anerkannt und normiert (ISO 16739-1:2018) und damit nicht mehr einzig in der Hand einer Firma, welche nach Belieben Änderungen vornehmen kann. Dies macht IFC zu einem zuverlässigen Schema, das geeignet ist für die Zusammenarbeit in Projekten und für langfristige Speicherungen. Das Datenaustauschformat ist in der Lage die Identität und Semantik (Objekt-Typen, Identifikations-

Tags,...), physische und abstrakte Attribute (Farbe, Wichte, Kosten,...), Abhängigkeiten (Ort, Bauteilverbindungen,...) und weitere Konzepte, wie Zuständigkeiten und technische Prozesse (TGA) zu beschreiben (buildingSMART Technical 2019). Dadurch lassen sich übliche Gebäude ausreichend gut darstellen.

Eine Charakteristik von IFC ist die Strukturierung in Klassen und Typen. Jedes Objekt muss einer Klasse zugeordnet werden, um anschließend wieder richtig interpretiert zu werden. Eine Wand wird dabei der Klasse *IfcWall* zugeordnet, eine Decke zu *IfcSlab*. Für die Klasse *IfcSlab* gibt es dann beispielsweise noch Untertypen wie *FLOOR*, *ROOF*, *LANDING* oder *BASESLAB*. Zu den Klassen gehören auch feste Attributsets. So hat eine *IfcWall* standardmäßig Parameter wie unter anderem *Reference* (Bauteiltyp), *FireRating* oder *LoadBearing* (Tragend). Aber auch selbst erstellte Eigenschaftensätze können übernommen werden. Wird einem Bauteil keine Klasse zugewiesen, oder ist keine passende vorhanden, wird die Klasse *IfcBuildingElementProxy* verwendet. Das verändert nicht die visuelle Darstellung, aber erschwert die Interpretation beim Einlesen und ist daher, wenn möglich zu vermeiden.

Die IFC-Klassen sind jedoch bis jetzt eher auf den Hochbau ausgelegt. Um beim Straßen- oder Gleisbau nicht jedes Trassenobjekt als *IfcBuildingElementProxy* deklarieren zu müssen, gibt es Bestrebungen das IFC-Schema in diese Richtungen zu erweitern. Dazu zählen die Projekte *IfcRoad*, *IfcRail* und *IfcBridge* (BIM4INFRA2020 2019d). Diese haben als gemeinsames Ziel, die charakteristischen Bestandteile linearer Infrastruktur ebenfalls im IFC-Schema zu verankern. Im Falle von *IfcBridge* gehören dazu Klassen und zugehörige Beschreibungsregeln, um z.B. Spannbetontragwerke genauer gegenüber einem einfachen Betonbalken spezifizieren zu können (buildingSMART International 2020). Auch eine sichere Beschreibung von Bauteilen entlang einer Trassierungsachse, sodass deren Bezug für weitere Modifikationen erhalten bleibt, gehört zu den Zielen.

Ein Problem liegt in den Interpretationsspielräumen der einzelnen Programme beim Lesen und Schreiben der Bauteilgeometrien. In einem Bericht wurde untersucht welche Auswirkungen diese Spielräume beim Modellaustausch zwischen Allplan und Revit über IFC haben (Trzeciak 2018). Dieser führte zu dem Ergebnis, dass unterschiedliche Exportparameter bei einer gleichen Export-Geometrie zu unterschiedlichen Import-Ergebnissen führen. Die Ergebnisspannweite reicht dabei von *gut*, bis *nicht sinnvoll* oder *gar nicht modifizierbar*. Es wurden für diese Test mehrere Brückenbauteile

mehrfach mit unterschiedlichen IFC-Klassen in eine IFC-Datei exportiert und wieder in das andere Programm eingelesen. In der folgenden Abbildung ist ein solches Testergebnis in Allplan zu sehen. Die dargestellten Zylinder entsprechen Bohrspfählen, welche in Revit modelliert wurden und von dort mit verschiedenen IFC-Klassen exportiert wurden. Die Klassen sind (von links nach rechts) *IfcSlab*, *IfcPile* (die vorgesehene Klasse), *IfcColumn* und *IfcBeam*. Nach dem Import in Allplan ist zusehen, dass die vorgesehene Variante zu einem nicht modifizierbaren Ergebnis geführt hat und dadurch unbrauchbar war. Auch die vierte Variante ist ungeeignet, da die unregelmäßig triangulierte Form zwar bearbeitbar ist, aber der Aufwand dafür unrentabel ist. Es ist jedoch möglich, die Beschreibungsart der Exportgeometrie in den Programmen manuell festzulegen, um einige Inkompatibilitäten zu beheben (Trzeciak 2018).

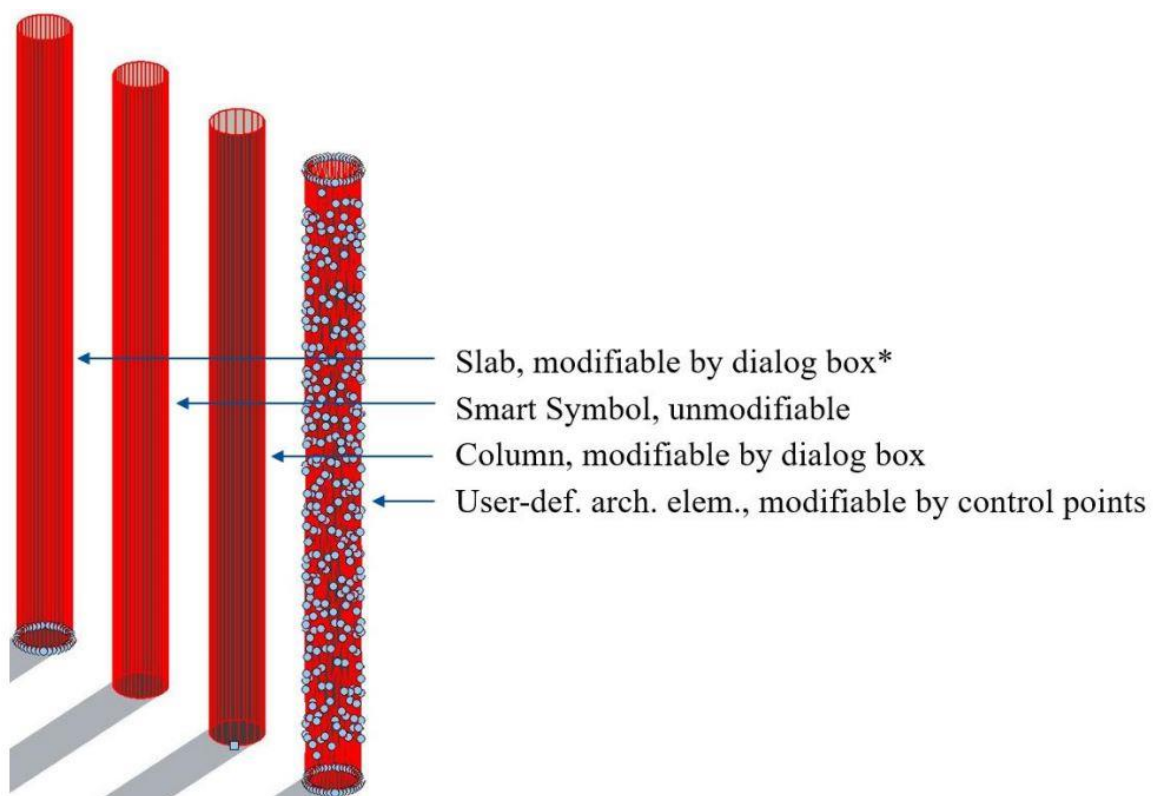


Abbildung 3.3 Verschiedene Modifizierungsmöglichkeiten von unterschiedlichen Darstellungsweisen in Allplan (Trzeciak 2018, S. 14)

Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass vor jedem Projekt der Datenaustausch getestet werden muss, um spätere Fehler bei Übergaben zu vermeiden. Da diese Ergebnisse auch von zusätzlichen Export-/Importeinstellungen abhängen und sich eventuell über Versionen hinweg Änderungen ergeben, ist diese Überprüfung auch für bekannte Software-Kombinationen sicherheitshalber jedes Mal erneut durchzuführen.

4 Vorstellung des Beispielmodells

Als Beispiel-Bauwerk dient eine Autobahnbrücke (Baujahr 2021) der BAB 9. Die Ausführungspläne dafür wurden von der Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH des Bundes zur Verfügung gestellt.

Die lichte Weite beträgt 7,00 m und die minimale lichte Höhe 4,20 m. Die Autobahn ist an dieser Stelle sechsspurig. Die tragende Konstruktion ist ein Rahmentragwerk aus Stahlbeton. Das bedeutet, dass Widerlager und Überbau monolithisch miteinander verbunden sind. Die Brücke ersetzt ein älteres und kleineres Bauwerk, welches in Teilen bereits über 80 Jahre alt war und über die Jahre erweitert wurde.

Damit der Verkehr zumindest teilweise weiterfließen konnte, wurde das Bauwerk in zwei Abschnitten errichtet, sodass jeweils nur eine Fahrbahn gesperrt werden musste und beide Fahrrichtungen über die andere Fahrbahn abgewickelt werden konnten.

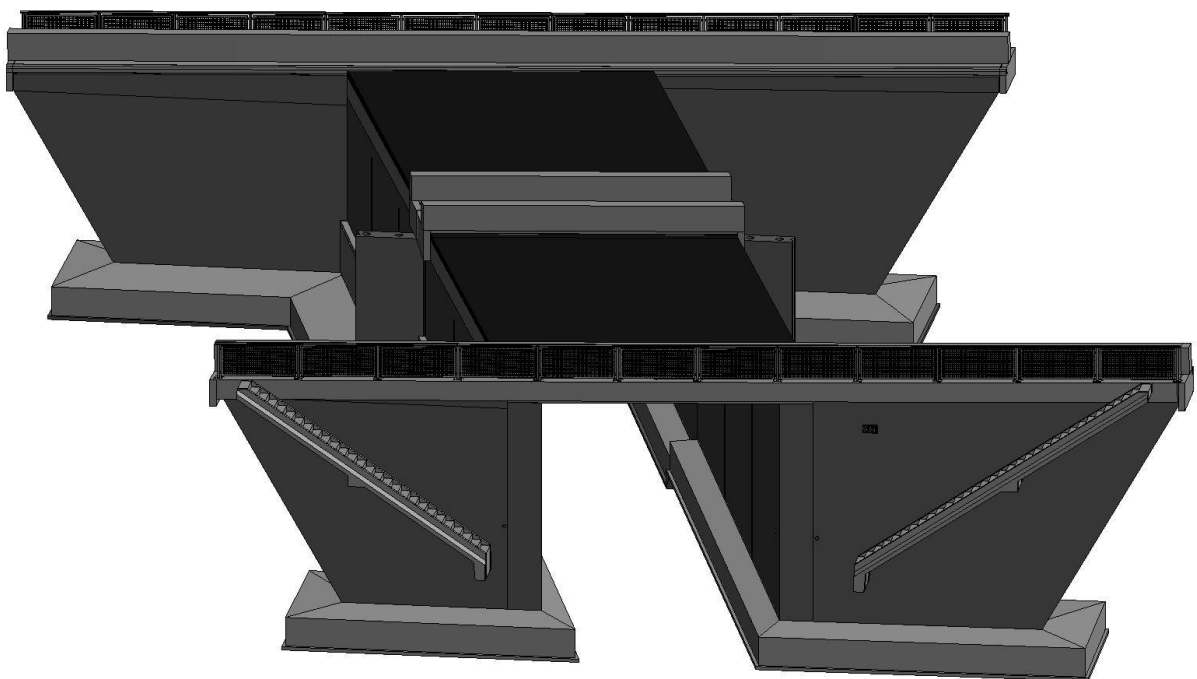


Abbildung 4.1 Modell des Beispielbauwerks in Revit

Die Unterteilung in zwei Bauabschnitte kann man in der obigen Abbildung daran erkennen, dass mitten in den Widerlagern jeweils ein kurzes Stück Wand absteht. Dort

schloss während der Bauphase der Verbau an (nicht modelliert). Zuerst wurde die im Bild hintere Seite (Fahrtrichtung Nürnberg) abgerissen und neugebaut, bevor die vordere Seite Richtung München angegangen wurde.

Dieses Bauwerk wurde vollständig in Revit 2020 und zu Teilen in Allplan 2021 modelliert. Ansichten des Bauwerks sind im Anhang zu finden. Alle im fünften Kapitel gezeigten und erklärten Bauteile stammen von dieser Brücke.

Die Aufgabe bestand darin, die Brücke anhand der Ausführungspläne so detailliert wie möglich zu erstellen. Es handelt sich also um ein „as-built“-Modell. Dabei sollten auch die zugehörigen AIA bzw. spezielle Modellierungsvorschriften berücksichtigt werden. In diesen wurde sehr viel Wert auf die Menge an Informationen (LOI) gelegt. Es wurde relativ genau festgelegt, wie Bauteile zu klassifizieren sind und wie viele Informationen je Bauteil vorhanden sein müssen. Dies liegt daran, dass mit dem offiziellen Modell Mengen- und Kostenermittlungen, Abrechnungen und die Erstellung des Leistungsverzeichnis möglich sein sollten. Die dafür nötigen Attribute wurden auch im Beispielmodell für diese Arbeit erstellt und weitestgehend ausgefüllt, aber es erfolgte keine Auswertung hinsichtlich der oben genannten Punkte.

5 Modellierungsvergleich zwischen Allplan und Revit

Im Folgenden werden die Programme Allplan 2021 und Revit 2020 hinsichtlich für die Modellierung relevanter Punkte verglichen. Es können in dieser Arbeit nicht alle Aspekte abgedeckt werden, weshalb sich auf einige wesentliche beschränkt wird, welche für den Modellierungsvorgang des Referenzprojekts nötig sind. Zudem kann es in neueren Programmversionen eventuell neue Lösungsansätze geben, welche die hier gezeigten ersetzen, oder verbessern können. Darauf kann und wird hier im Voraus nicht eingegangen. Auch sind die angewendeten Methoden zur Erstellung der Beispiele nie die einzigen möglichen Lösungen, sondern dienen primär der Verdeutlichung der Prinzipien. Alle Beispiele beziehen sich auf das dieser Arbeit zugrunde liegende Brückenmodell.

5.1 Vorstellung der zu vergleichenden Programme

5.1.1 Allplan 2021

Allplan wurde erstmals 1984 als CAD-Programm veröffentlicht und anschließend über die Jahre um seine BIM-Tools erweitert. Aktuell wird das Programm von der Allplan GmbH verwaltet und entwickelt, welche zur Nemetschek Group gehört. (Allplan 2021d)

Durch die Kombination aus CAD und BIM ergeben sich Vereinfachungen beim Erstellen von Detailzeichnungen und Referenzskizzen, wobei auch ein Import von externen CAD-Dateien möglich ist.

Eine der wichtigsten Merkmale von Allplan ist das Teilbildsystem bzw. die *Bauwerksstruktur* (Abbildung 5.1). Hier wird das Bauwerk in Abschnitte unterteilt und einzelne Teilbilder (entsprechen einzelnen Zeichnungsdateien) können diesen zugeordnet werden. Es sind insgesamt 9999 Teilbilder vorhanden, in welchen die eigentlichen 2D- und 3D-Zeichnungen und Modelle abgelegt werden. Diese können einzeln an- und abgewählt werden. Dies bestimmt, was aktuell im Modellierungsbereich zu sehen und bearbeitbar ist. Dabei wird unterschieden zwischen dem aktiven Teilbild (rotes Symbol), in dem gerade gearbeitet und gespeichert wird, Zeichnungen, die ebenfalls sichtbar und modifizierbar sind (gelbes Symbol) und sichtbare, aber unveränderliche Teilbilder (graues Symbol). Schnitte, Ansichten und das Höhenmodell sind unabhängig von den Teilbildern. Im Ebenenmanager kann unabhängig von den Zeichnungen eine

Ebenenstruktur erstellt werden. Diese legt die Ober- und Unterkanten, sowie die Anzahl der Geschosse fest (auch getrennt für Teilbauwerke). Diese Höhenabhängigkeiten können anschließend einzelnen Teilobjekten der Bauwerksstruktur zugeordnet werden. Das kann dazu verwendet werden, um z.B. Wände in einem Geschoss von Bodenoberkante und Deckenunterkante abhängig zu machen, damit diese sich bei Änderungen der Geschosshöhe automatisch mit anpassen. (Allplan 2021a)

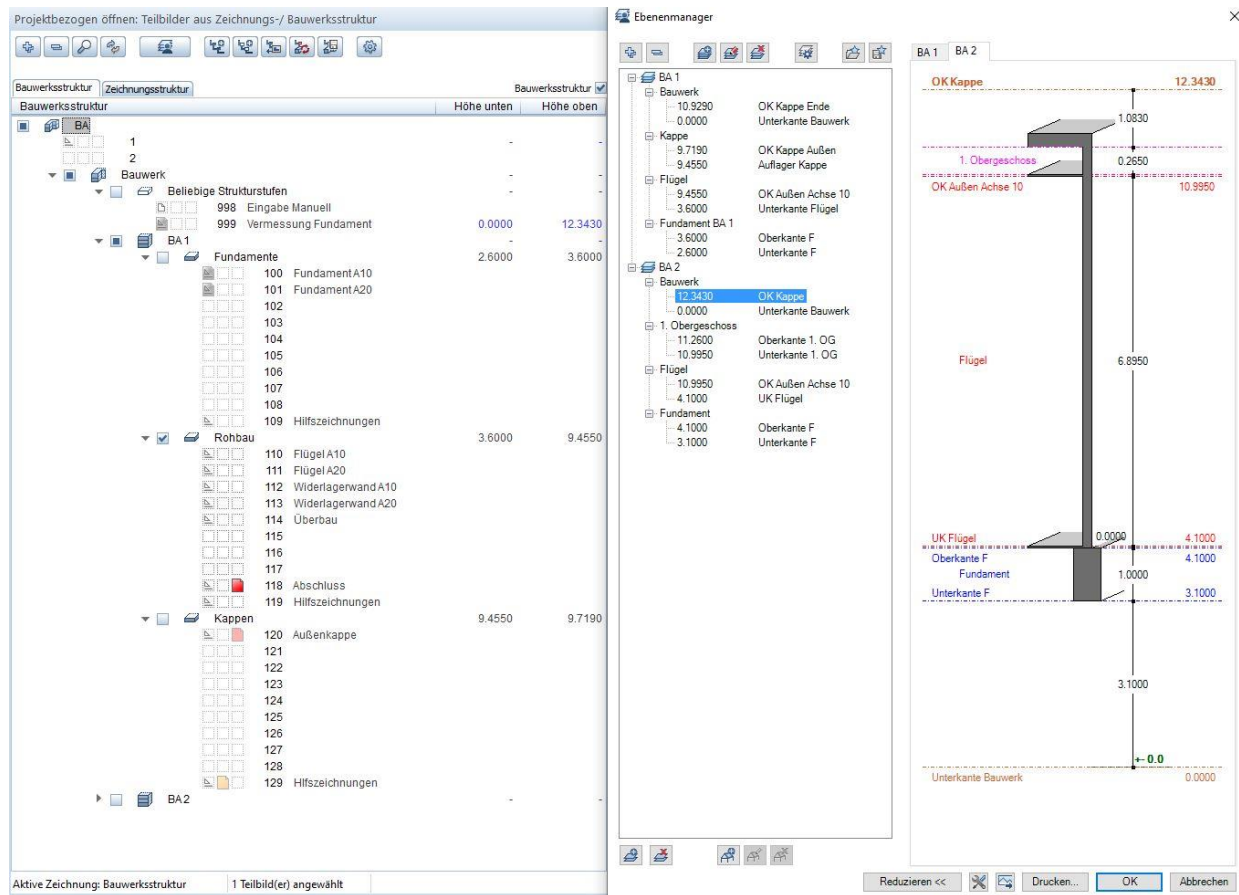


Abbildung 5.1 Die Allplan Bauwerksstruktur und der Ebenenmanager

In der obigen Abbildung ist die Bauwerksstruktur für die Beispielbrücke während der Modellierung zu sehen. Es wurden jedoch noch nicht alle Zeichnungen erstellt. Der Ebenenmanager ist hier wenig hilfreich, da es ab den Fundamenten keine ebenen Abhängigkeiten mehr gibt, aber er kann als Orientierung dienen. Die Bauwerksstruktur ist in die Bauabschnitte *BA 1* und *BA 2* gegliedert. Danach wurde noch eine weitere Strukturstufe für die Bauteilkategorien hinzugefügt, bevor jeder Kategorie ein Satz an Teilbildern zugeordnet wurde. Es wurde für jedes Bauteil ein extra Teilbild verwendet, um diese einzeln sichtbar schalten zu können und somit die Übersichtlichkeit zu wahren. Auch Hilfszeichnungen wurden deswegen ausgelagert.

Als weitere Stärken gibt die Allplan GmbH unter anderem die Verknüpfungsmöglichkeiten zu Statik-Programmen, die Visualisierungsmöglichkeiten, Teamwork-Lösungen und eine Spezialisierung auf Bewehrungsplanung an (Allplan 2021b).

5.1.2 Revit 2020

Revit ist im Gegensatz zu Allplan eine reine BIM-Software. Die erste Version wurde 1998 von einem Bostoner Start-Up entwickelt, bevor sie 2002 von Autodesk aufgekauft wurden (Dzambazova et al. 2009). Seitdem wurde die Software stetig erweitert und in die Produktpalette von Autodesk integriert. Der Fokus liegt nach eigenen Angaben von Autodesk unter anderem auf der Gebäudetechnik, der Gebäudeanalyse, der Visualisierung und parametrischer Modellierung (Autodesk 2021c). Auch die Interoperabilität der eigenen Produktfamilie wird gefördert. So ist es z.B. möglich Revit über vorhandene Schnittstellen zusammen mit *Civil 3D* und *InfraWorks* zu nutzen, welche beide Planungsprogramme von Autodesk sind, die auf den Tiefbau bzw. Infrastruktur spezialisiert sind (Autodesk 2020). Dies soll die Arbeit beim Erstellen von Infrastrukturbauwerken erleichtern. Neben anderen Softwarekombinationen sind auch zusätzliche Plugins (auch von Drittanbietern) in Revit verfügbar (Autodesk 2021c). Für das Projekt wurde die Version *Revit 2020* verwendet.

Die ältere Revit-Version wurde ausgewählt, da das Beispielmmodell, das dieser Arbeit zugrunde liegt, in eben dieser erstellt wurde. Dies liegt an einer Abmachung mit der Autobahn GmbH, welche neben einem IFC-Export auch an der Original-Datei interessiert ist und zum Zeitpunkt der Modellierung mit dieser Version arbeitet und zwischen Revit-Projektdateien keine Aufwärtskompatibilität besteht. Das bedeutet, dass Dateien aus neueren Revit-Versionen nicht mit älteren Versionen geöffnet werden können. Umgekehrt ist das aber möglich. Die Datei wird dabei aktualisiert und kann anschließend wiederum nicht von Vorgängerprogrammen gelesen werden. Hierbei wird noch einmal deutlich, warum neutrale und konsistente Datenaustauschformate nötig sind.

Eine Besonderheit von Revit ist das Familiensystem. Jedes erstellte Objekt (Bauteile und Hilfsobjekte wie Ebenen) gehört zu einer Familie. Eine Familie beschreibt eine Gruppe von Elementen mit gemeinsamen Eigenschaften (Autodesk 2021a). Innerhalb dieser Familien können zusätzlich noch Typen erstellt werden, welche jeweils eine spezielle Parameterkonfiguration der Familie beinhalten. Jede Familie hat mindestens einen Typ. Es gibt drei unterschiedliche Familienarten:

- Systemfamilien: Von Revit vordefiniert und vorinstalliert. Dazu zählen standardmäßig in den Registerkarten auswählbare Grundelemente (z.B. Wände, Decken, Stützen). Bei diesen sind nur einzelne Typen modifizierbar (z.B. mehrere Wandtypen mit unterschiedlichen Stärken), aber nicht die Familie selbst.
- Ladbare Familien: Werden nur in ein Projekt geladen, wenn nötig und sind auch für andere Projekte verwendbar. Modellierung erfolgt in externer Datei, was die Wiederverwendung über mehrere Projekte hinweg ermöglicht. Anwendungsfälle sind unter anderem Fenster, Türen, Baustelleneinrichtung, Geländer und Möbel.
- Projektfamilien: Nützlich für projektspezifische Bauteile, welche nur einmalig vorkommen, oder aufgrund ihrer Komplexität nicht über Systemfamilien erstellbar sind. Eine Projektfamilie hat jeweils nur einen Typ, da sie für Unikate bestimmt sind. Es stehen dafür die gleichen Werkzeuge zur Verfügung wie bei ladbaren Familien. (Autodesk 2021a)

Als Zeichenflächen dienen Ebenen, welche über ihre Referenzhöhe bestimmt sind. Anders als in Allplan gibt es für jede Geschossebene erstmal nur einen Grundriss, einen Tragwerksplan und einen Deckenplan. Diese können aber dupliziert werden. Ein schnelles Ausblenden von Gebäudeteilen, wie mit dem Teilbildsystem von Allplan ist nicht möglich. Es kann nur manuell und für jede Arbeitsansicht einzeln erfolgen. (3D-)Ansichten sind von den Ebenen entkoppelt und zählen als einzelne Arbeitsansichten. Zeichnen außerhalb dieser Ebenen, oder einer händisch definierten Arbeitsebene ist nicht möglich. (Autodesk 2021a)

Es folgt nun der Vergleich der beiden Programme hinsichtlich einzelner Teilaspekte. Die einzelnen Themen werden jeweils durch Umsetzungsbeispiele aus dem Brückenmodell veranschaulicht und erläutert.

5.2 Vorbereitung der Modellierungsumgebung

Bevor mit dem eigentlichen Modellieren gestartet wird, sollten alle Rahmenbedingungen und Projekteinstellungen abgeschlossen werden. Dazu gehört die Abstimmung des programmeigenen Koordinatensystems mit den Projektkoordinaten. Da reale Koordinaten meist große Werte annehmen und die Programme am mehreren Kilometern Entfernung zum Ursprung fehleranfällig werden, muss stattdessen ein relativer Bezugspunkt genommen werden. Dafür wird ein Projektbasispunkt festgelegt, welcher später auch als Identifikationspunkt für das Modell verwendet wird. Dieser Punkt hat

möglichst einfache reale Koordinaten und ist nicht Teil des Bauwerks und wird nicht davon verdeckt. Das Programm-Koordinatensystem wird anschließend in diesen Punkt geschoben. Somit bleiben die Koordinaten im Projekt klein, aber bei der Zusammenführung mit anderen Modellen, kann das Modell über diesen Punkt eindeutig positioniert werden. Da die Koordinatensysteme in den Programmen und in IFC unsichtbar sind, empfiehlt es sich dort ein kleines Objekt zu erstellen, welches diesen Punkt visualisiert. (Roberti 2021)

Als nächster Schritt ist die Projektumgebung passend auszurichten. Wenn das Bauwerk mit seinen Achsen nicht nach realen Himmelsrichtungen ausgerichtet ist, ist es sinnvoll, das Projekt im Programm so zu verdrehen, dass die Bauteilachse parallel zu einer Koordinatenachse liegt (Roberti 2021). Dadurch ergibt sich neben dem realen Norden auch ein Projekt Norden. Zwischen beiden kann im Projekt zur Orientierung gewechselt werden. Sobald alle Referenzzeichnungen und Ähnliches mit gedreht wurden, erleichtert dies die Bedienung, da die Programme für eine Modellierung entlang der Achsen optimiert sind. Für das Beispielprojekt wurde diese Drehung nicht durchgeführt. Dies hatte zur Folge, dass einige Funktionen wie Bemaßungen, oder der Objektfang in beiden Programmen weniger effizient nutzbar waren.

Das Einlesen von Zeichnungen mit Vermessungspunkten ist in beiden Programmen jeweils möglich, jedoch auf Genauigkeit zu prüfen, da beim Importieren Ungenauigkeiten auftreten können. So lagen, beim Versuch eine CAD-Datei einzulesen, bei beiden Programmen die Punktsymbole etwa einen Millimeter neben dem eigentlichen Eckpunkt und den Linien, die sich dort trafen.

In den einzelnen Programmen ist aber auch eine Bauwerksstruktur anzulegen. In Revit sind das einzelne horizontale Ebenen, zu denen alle Bauteile mindestens eine Abhängigkeit haben, außer sie liegen auf einer speziellen Arbeitsebene. Da bei einer Verschiebung dann alle daran gebundenen Bauteile mitbewegt werden, sollten bereits von Anfang an alle Ebenen an ihrer richtigen Position sein und nicht mehr in ihrer Höhe verändert werden. Das nachträgliche Hinzufügen von Ebenen ist allerdings jederzeit möglich.

Das Teilbildsystem in Allplan erlaubt das Projekt in Teilbauwerke zu unterteilen. In der Abbildung 5.1 ist eine Gliederung für die Brücke zu sehen. Hier wurde zuerst zwischen den zwei Bauabschnitten (für jede Fahrbahn einer) getrennt und diese anschließend

in die drei Kategorien *Fundamente*, *Rohbau* und *Kappen* aufgeteilt (Vermessungsdaten wurden extra abgelegt). Diese beinhalten dann jeweils zehn Teilbilder, in denen dann die einzelnen Bauteile gezeichnet werden. Dabei wurde jeweils eins für Zeichnungen reserviert, damit diese unabhängig von den daraus erstellten Bauteilen unsichtbar geschaltet werden können. Ein nachträgliches Verschieben oder Hinzufügen von Ebenen und Teilbildern ist möglich. Für Höhenreferenzen wird der Ebenenmanager benutzt. Dieser ist fest an eine Geschossstruktur gebunden und daher im Brückenbau wenig hilfreich. Da aber Bauteile in Allplan nicht von solchen Ebenen abhängig sein müssen, sondern auch rein über ihre absoluten Koordinaten beschreibbar sind, stellt das im weiteren Verlauf kein Problem dar.

5.3 Freie 3D-Modellierung

Die in den Programmen implementierten Bauteiltypen, wie Wände, Decken, Treppen, Stützen, etc. sind meist im Brückenbau nicht verwendbar, da diese Vorlagen strengen Mustern folgen. Dazu zählen in der Regel Abhängigkeiten zu mindestens einer Ebene, sowie konstante Bauteildicken bzw. Querschnitte. Diese Eigenschaften werden im Hochbau dafür verwendet, um Gebäude schnell und effizient aus einfachen Bauteilen modellieren zu können und um Wände oder andere Bauteile zwischen zwei Geschossebenen zu fixieren, damit sie sich automatisch mit ihrer Länge an mögliche Verschiebungen der Referenzebenen anpassen. Im Infrastrukturbereich sind derartige Abhängigkeiten in der Regel nicht möglich, da viele Bauteile über Längs- und Querneigungen, sowie variable Querschnitte verfügen und damit die Modifizierbarkeit der Standardformen übersteigen.

Beispielsweise haben Brückenfundamente üblicherweise eine plane Unterkante und oben, außerhalb des Verbindungsbereichs zu den Widerlagerwänden abgeschrägte Oberflächen zur Wasserableitung (siehe RIZ-ING, Was 7). Dies entspricht auch größtenteils den Annahmen der beiden Programme, jedoch stellt Revit für Fundamente nur Querschnitte mit parallelen Boden- und Deckenebenen zur Verfügung, welche nicht der Praxis entsprechen. Allplan hat zwar Querschnitte mit Abschrägung vordefiniert, aber diese reichen ebenfalls nicht aus, da keine Abschrägung in Achsenlängsrichtung möglich ist und eine Achsensymmetrie vorausgesetzt wird. Deshalb muss auf frei modellierbare Körper zurückgegriffen werden.

5.3.1 Extrusions- und Rotationsverfahren

Für die Erstellung beliebiger 3D-Objekte stellen beide Programme *Extrusions- und Rotationsverfahren* zur Verfügung. Bei einer *Extrusion* wird ein Körper aus einer Grundfläche erzeugt, welche entlang einer dreidimensionalen Entwicklungskurve (Pfad) „gezogen“ wird, oder eine Höhe zugewiesen bekommt. Der Querschnitt bleibt dabei konstant. Entspricht der Pfad dabei nicht einer Geraden, bezeichnet man das Vorgehen als *Sweep*. Bei einer *Rotation* wird ein Profil um eine angegebene Achse gedreht. Beim *Lofting* wird ein Körper durch mehrere, im Raum liegende Querschnitte erstellt. Wenn sich die Querschnitts-Geometrien unterscheiden, wird die Zwischenform des Körpers interpoliert. (siehe Abbildung 5.2) (Borrmann et al. 2015)

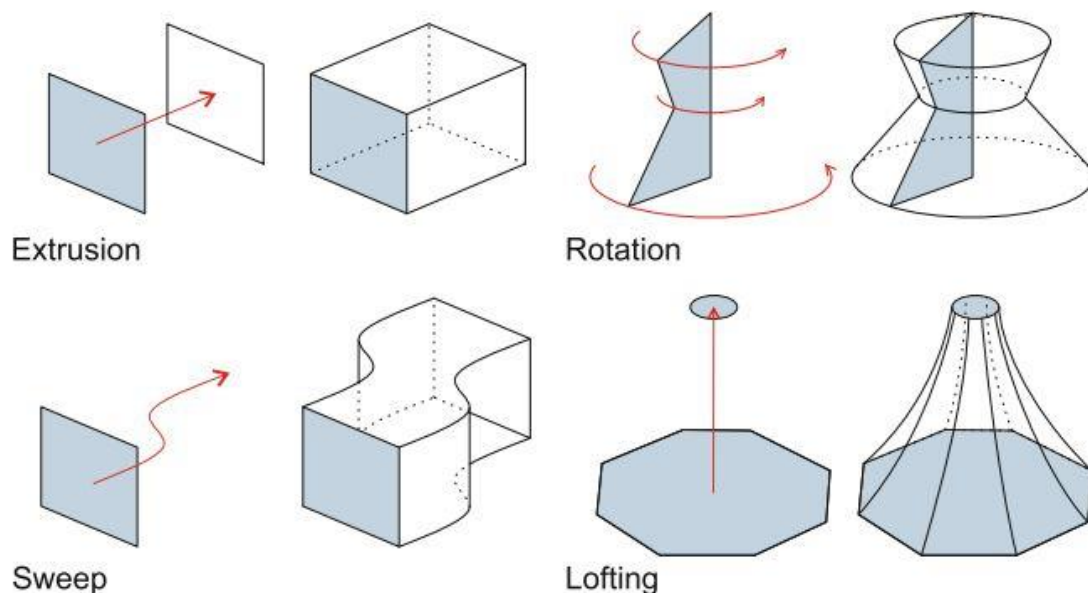


Abbildung 5.2 Grundprinzipien des Extrusions- und Rotationsverfahren (Borrmann et al. 2015, S. 33)

Die Umsetzung dieser Prinzipien weicht in beiden Programmen von der Theorie ab und auch untereinander unterscheiden sie sich deutlich.

In Allplan besteht das Vorgehen darin, dass man zuerst die benötigten Profile und Pfade an ihrer Position im Raum zeichnet und anschließend die gewünschte Funktion auswählt. Als Funktionen stehen neben den vier zuvor Genannten (Abbildung 5.2) auch Mischformen aus diesen zur Verfügung. Der *Fahrweg-Sweep* verbindet das Prinzip des *Sweeps* mit dem des *Lofting*, sodass es möglich ist, mehrere Profile entlang eines Pfades zu interpolieren. Mit der Funktion *Mantel* lassen sich Extrusionen auch

von gekrümmten, oder geknickten Flächen aus erstellen. Bei der *Loft*-Funktion berücksichtigt Allplan die Punktreihenfolge der angewählten Profile. Dies ermöglicht eine Torsion des Bauteils. Zudem kann zwischen linearer und nicht linearer Interpolation gewählt werden. Zur weiteren Modifizierung sind die booleschen Operatoren *Vereinigung*, *Schnitt* und *Differenz* anwendbar, welche ursprünglich aus dem Bereich der *Constructive Solid Geometry* (CSG) kommen (Borrmann et al. 2015). (Allplan 2021a)

Um in Revit einen 3D-Körper zu erstellen, muss für diesen eine neue *Projektfamilie* angelegt werden (-> *Architektur* -> *Bauteil* -> *Projektfamilie erstellen*). Damit wird eine neue Menüleiste geöffnet. Diese enthält unter anderem die fünf Funktionen *Extrusion*, *Verschmelzung*, *Rotieren*, *Sweep* und *Sweep-Verschmelzung*. Die *Verschmelzung* entspricht einem *Lofting* mit der Beschränkung auf ein Anfangs- und ein Endprofil. Ebenso ist die *Sweep-Verschmelzung* mit dem *Fahrweg-Sweep* von Allplan vergleichbar, jedoch wiederum mit der Begrenzung auf zwei Querschnitte. Die Profile und Pfade werden erst nach Aufruf einer Funktion verlangt und sind nur während der Modifizierung des jeweiligen Objekts sichtbar. Es muss erst ein Pfad durch eine durchgehende Linie auf einer Ebene gezeichnet werden, oder zusammenhängende Bauteilkanten als Referenz gewählt werden, bevor man ein Profil zeichnen, oder aus einer Vorlage auswählen kann. Für *Extrusion* und *Verschmelzung* muss statt eines Pfades eine untere und eine obere Höhe bezüglich einer Basisebene definiert werden. Es ist auch eine Abhängigkeit und die Angabe einer Länge möglich. Profile werden stets parallel zu ihrer Referenzebene beziehungsweise orthogonal zu ihrem entsprechenden Pfad angeordnet. Dies führt zu einer geringeren Flexibilität bei der Modellierung als mit Allplan. (Autodesk 2021a)

Statt den klassischen booleschen Operatoren ist es möglich *Abzugskörper* zu erstellen, welche die zugeteilte Geometrie bei Fertigstellung der Familie schneiden. *Abzugskörper* können mit den gleichen Funktionen erstellt werden, wie die normalen Körper. Zudem können feste Körper jederzeit in *Abzugskörper* umgewandelt werden und umgekehrt. Es können auch Körper zusammengefügt werden, jedoch passiert das beim Schließen des Projektfamilieneditors automatisch und es entsteht ein einziger Körper mit einem Eigenschaftensatz. Durch erneutes Anklicken des Bauteils kann der Editor wieder geöffnet werden und einzelne Bauteile wieder getrennt bearbeitet werden. Auch durch *Abzugskörper* geschnittene Bauteile liegen dann wieder ungeschnitten vor. (Autodesk 2021a)

5.3.2 Beispiel: Fundament – Erstellung eines beliebigen 3D-Körpers

In Abbildung 5.3 ist schematisch die Erstellung eines Streifenfundaments für einen Bauabschnitt in beiden Programmen gezeigt. In Revit geschieht dies über eine *Extrusion* und eine *Verschmelzung*. Die Profile dafür wurden in einer Ebene an der Unterkante des Fundaments gezeichnet und mit entsprechenden Höhenangaben versehen. Da beide Einzelkörper in einer Projektfamilie erstellt wurden ergeben sie nach der Fertigstellung einen gemeinsamen Körper. Für die Modellierung in Allplan wurden zunächst drei Polygonzüge erstellt, welche die horizontalen Bauteilkanten abbilden (äquivalent zu den Querschnitten an Ober- und Unterkanten der beiden Revit-Bauteile). Diese befinden sich bereits an ihrer endgültigen Position im Raum. Anschließend werden alle drei Linien mit der Funktion *Loft* angewählt und der 3D-Körper erstellt. Es ist darauf zu achten, dass als Interpolationsart linear ausgewählt ist, damit die erstellten Kanten gerade sind. Die Anfangspunkte der Polygonzüge sollten übereinander liegen, um Verdrehungen zu vermeiden.

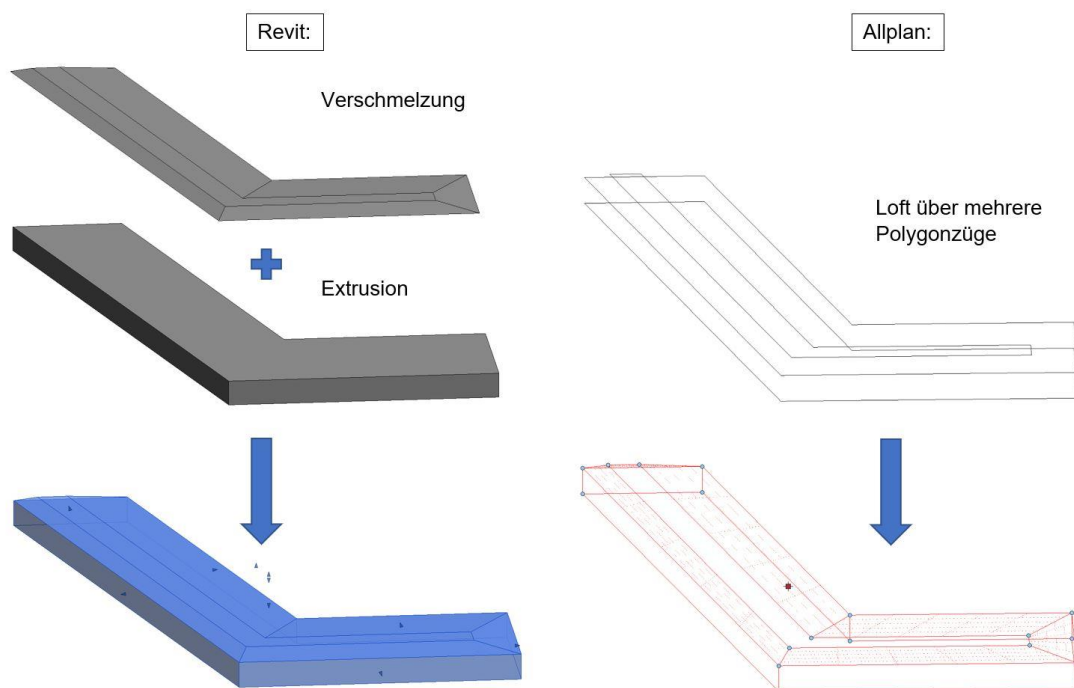


Abbildung 5.3 Modellierungsprozess am Beispiel eines Fundaments in Revit und Allplan

5.3.3 Darstellungsweise

Aus obiger Abbildung wird bereits deutlich, dass sich neben den Modellierungsweisen auch die Darstellungsarten unterscheiden. Diese Darstellungsweisen haben auch Einfluss auf die Modifizierbarkeit bereits erstellter Bauteile.

Im Fall von Revit handelt es sich um eine implizite Darstellung. Das bedeutet, dass der endgültige Körper über seine Zusammensetzung aus seinen Teilkörpern und *Abzugskörpern* beschrieben wird (Borrmann et al. 2015). Deshalb muss in Revit erst eine Projektfamilie (entspricht dem finalen Bauteil) erstellt werden, damit darin die Teilkörper und ihre Beziehungen erfasst und gespeichert werden können. Nachträgliche Modifikationen können durch Bearbeitung der Profile und Pfade der Einzelbauteile bewerkstelligt werden. Das Gesamtbauteil wird dann wieder neu zusammengefügt und mit den vorhandenen *Abzugskörpern* erneut geschnitten. Dieses Vorgehen ist mit der Erstellung von Körpern durch das CSG-Verfahren (Borrmann et al. 2015) vergleichbar. Revit bietet zudem eine Modifizierbarkeit außerhalb des Familieneditors an. Dabei lassen sich nach einfachem Anklicken des Bauteils einzelne Flächen senkrecht zu ihrer Ausrichtung bewegen. Dies entspricht dann zum Beispiel dem Verschieben einer Linie in einem Profil oder das Ändern einer Extrusionshöhe. Die Bearbeitung über die Teilhauteile ist aber wegen einer höheren Präzision und vielseitigeren Modifizierbarkeit empfohlen. (Autodesk 2021a)

Bei einer expliziten Darstellungsweise, wie zum Beispiel der *Boundary Representation Methode* (BRep) in Allplan, werden nicht die Grundkörper gespeichert, sondern die Position der Eckpunkte des fertigen Körpers, die Kanten zwischen diesen und die Flächen, die dadurch erzeugt werden. Die Information über die Herstellungsweise geht hier vollständig verloren (Borrmann et al. 2015). Deshalb sind in Allplan die Eckpunkte eines 3D-Körpers (in Abbildung 5.3 rechts in blau dargestellt) anwählbar und einzeln verschiebbar. Nach der Erstellung verliert ein Körper jegliche Abhängigkeit zu seinen Referenzskizzen, mit welchen er erstellt wurde. Es wird daher empfohlen für die benötigten Skizzen und Linien ein eigenes Teilbild zu erstellen, um eine Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Diese Darstellungsweise ermöglicht es dafür, die Körper an beliebigen Stellen mittels einer Referenzebene zu teilen und Kanten abzurunden oder zu fassen. (Allplan 2021a)

5.3.4 Beispiel: Widerlagerflügel – nachträgliche Modifizierbarkeit von Bauteilen

Die Widerlagerflügel des Beispielprojekts sind nach der Richtzeichnung *Flügelwand mit Kappe* (RIZ-ING, Flü 1) entworfen (siehe Abbildung 5.4). Sie bestehen aus einem Wandstück, welches sich Richtung Erdseite nach oben hin, bis zur Unterkante der Kappenschürze verlängert. Von dort an verläuft die Stirnfläche der Wand wieder vertikal. Den oberen Abschluss bildet ein Überhang, welcher sowohl eine Quer- als auch eine Längsneigung aufweist. Auf diesem wird später die Kappe liegen (siehe Kapitel 5.3.5). Die Krümmung der Trassierungsachse wird nur an die Außenseite des Überhangs übertragen, alle anderen Linien bleiben gerade bezüglich der Bauteilachse.

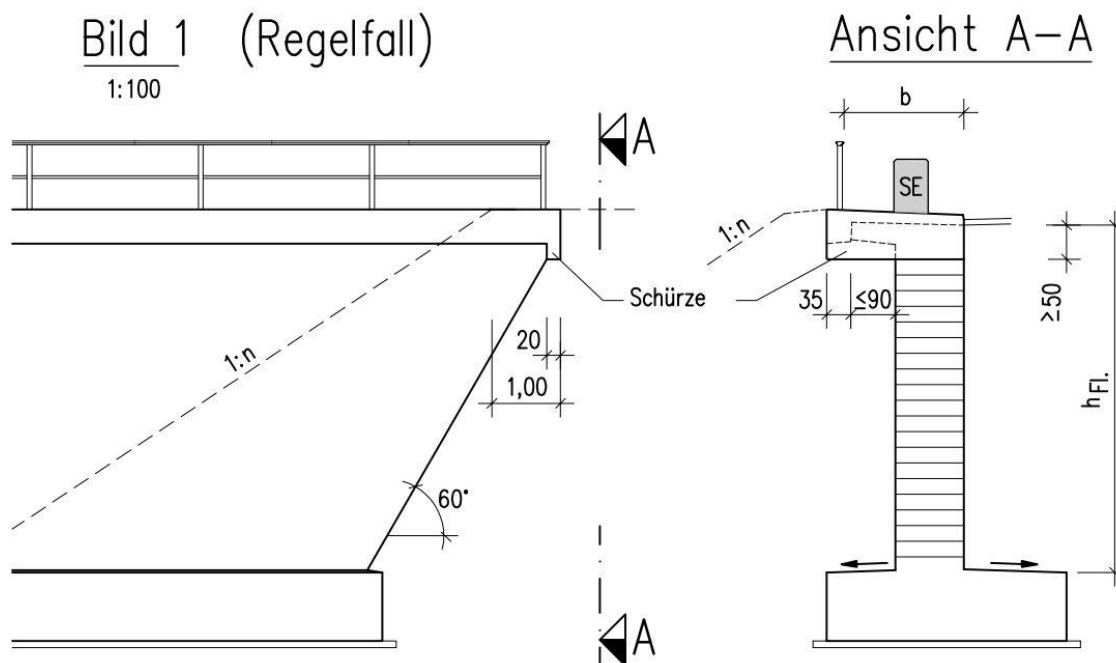


Abbildung 5.4 Richtzeichnung für Flügelwand mit Kappe (RIZ-ING, Flü 1)

In Revit erfolgt die Modellierung des Flügels in zwei Abschnitten. Beide sind in Abbildung 5.5 links getrennt abgebildet. Der erste Abschnitt geht von der Bauteilunterkante bis zum Ende der Verlängerung (Unterkante der Kappenschürze, siehe Abbildung 5.4). Dafür kann eine *Verschmelzung* verwendet werden. Die Profile liegen dabei horizontal. Befindet sich die Unterkante des Überbaus unterhalb der oberen Ebene der Verschmelzung, empfiehlt es sich stattdessen eine *Sweep-Verschmelzung* von der Vorder- zur Rückseite (siehe Abbildung 5.5 links) zu verwenden. Dadurch kann an der Oberseite das Gefälle besser berücksichtigt werden. Für den oberen Teil mit dem

Überhang wird eine *Sweep-Verschmelzung* verwendet, welche zudem noch die fehlende Wandhöhe ausgleicht. Der Entwicklungspfad verläuft dabei gerade in Bauteillängsrichtung. Die Krümmung des Überbaus wird durch einen *Abzugskörper* erzeugt, weil ein krummer Sweep-Pfad zu einer ungenauen Platzierung der Profile führt, da diese stets orthogonal zum Pfad platziert werden. Am im Erdreich liegenden Ende des Flügels ist das Profil bereits passend, da dort zwischen Stirnfläche und Wandachse ein rechter Winkel vorliegt. Auf der Gegenseite ist dies nicht gegeben, wie im linken Detail von Abbildung 5.5 zu sehen ist. Hier muss der Sweep-Körper nicht nur mit einem *Abzugskörper* beschnitten werden, sondern auch der Querschnittsunterschied, welcher am Überschnitt entsteht, im Profil mit einberechnet werden. Dieser ist zwar über die Längsneigung und den Abstand zwischen „Soll-Fläche“ und Sweep-Profil berechenbar, kostet aber Zeit. Ist die Krümmung konkav, müssen die Endprofile in Richtung des Überhangs so weit verlängert werden, dass ausreichend „Material“ für den Zuschnitt vorhanden ist.

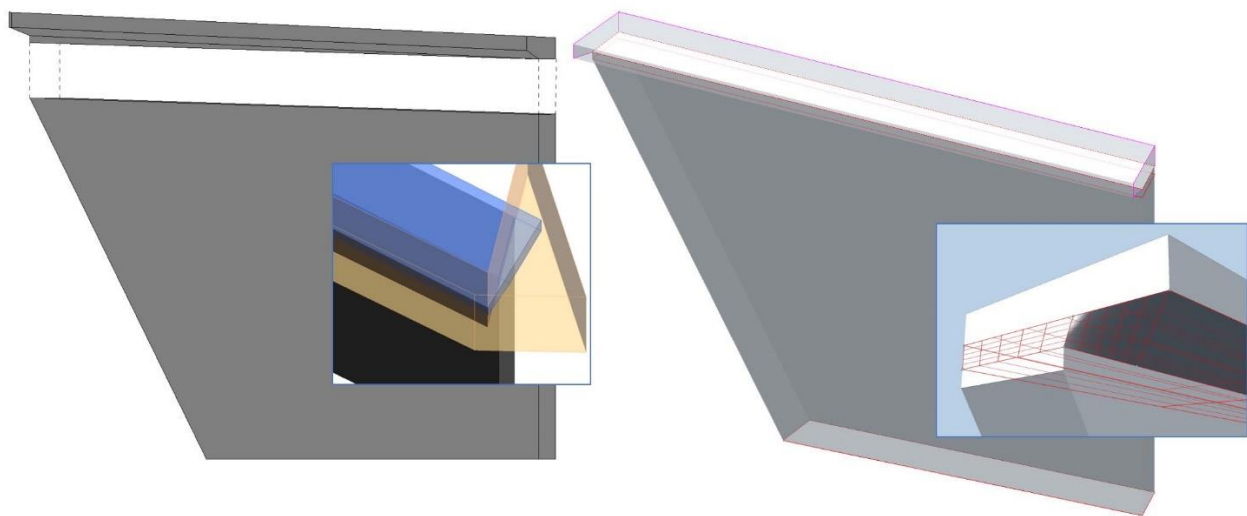


Abbildung 5.5 Modellierung eines Flügels in Revit (links) mit einem Detail zum *Abzugskörper* und in Allplan (rechts) mit Detail zu fehlerhaftem *Loft*

In Allplan gibt es zwei Möglichkeiten, den Flügel zu modellieren. Da die Querschnitte für die *Loft*-Funktion in Allplan nicht parallel liegen müssen, kann auch dieses Bauteil -wie die Fundamente (siehe Kapitel 5.3.2)- über ein einziges *Loft* erstellt werden. Dafür müssen zuvor alle Querschnittsänderungen an ihrer wahren Position als 3D-Polylinie vorgezeichnet werden. Mit dieser Vorgehensweise kann auch bereits die Krümmung des Überhangs integriert werden. Dass diese Vorgehensweise nicht absolut zuverlässig ist, kann man im rechten Detail in Abbildung 5.5 sehen. Dort wurde die untere Schräge

des Überhangs nicht korrekt erstellt. Derartige Fehler können zwar durch nachträgliches Verschieben der Punkte behoben werden, aber das kann zeitaufwendig sein. Alternativ dazu kann auch die Variante aus Revit verwendet werden. Diese ist hier sogar einfacher umsetzbar, da die Ebenen für das Loft nicht parallel sein müssen und die Profile des *Fahrweg-Sweeps* nicht orthogonal zum Pfad konstruiert werden müssen. Dadurch erübrigt sich die Umrechnung der zweiten Profilgeometrie des Sweeps und deren Zuschnitt. Das Ausschneiden der Krümmung bleibt jedoch bestehen.

5.3.5 Beispiel: Kappe – Modellierung ohne Basisebene

Die Modellierung der Außenkappe unterscheidet sich nicht wesentlich von den zuvor gezeigten Beispielen. Die Kappe kann durch einen Sweep und zwei Extrusionen für die Kappenschürzen (sichtbar in Abbildung 5.4 und als hellgraue Bauteile in Abbildung 5.6) erstellt werden. Als Richtzeichnung dient *RIZ-ING, Kap 1, Blatt 1*. Die Besonderheit liegt aber darin, dass dieses Bauteil nun keinen Bezug mehr zu einer horizontalen Ebene hat. Im Folgenden wird deshalb nur gezeigt, wie der für den Sweep nötige Pfad jeweils im Raum ausgerichtet wird. Das restliche Vorgehen wird größtenteils übersprungen.

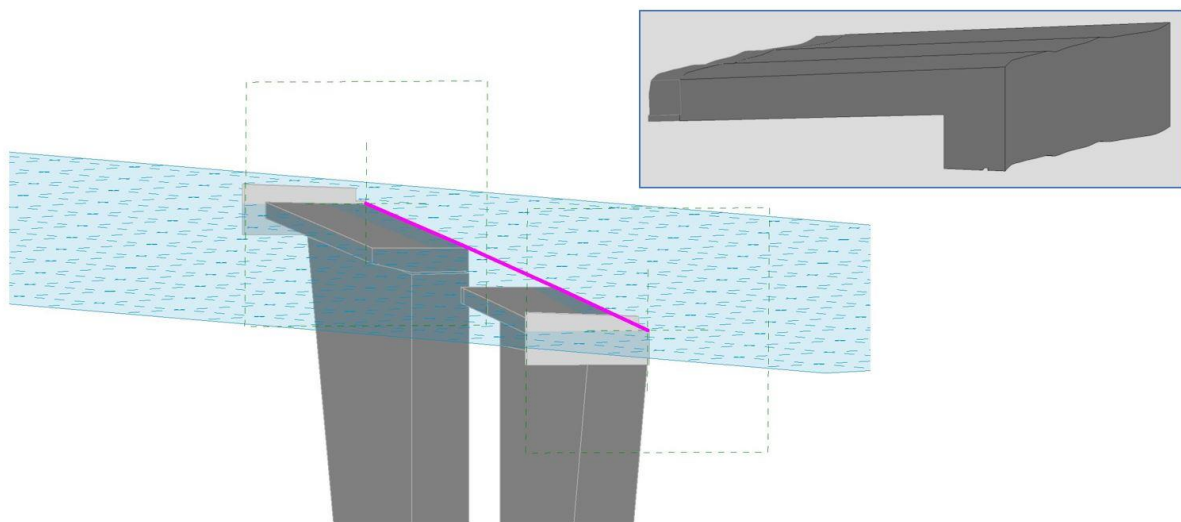


Abbildung 5.6 Visualisierung des Entwicklungspfades der Kappe und der zugehörigen Arbeitsebene und das Ergebnis eines fehlgeschlagenen Versuches (Detail oben rechts)

In Allplan ist man nicht auf eine Referenzebene angewiesen und kann frei im Raum zeichnen. Es ist möglich Kanten von bereits vorhandenen Bauteilen zu extrahieren

(Funktion *3D-Kurve extrahieren*) und direkt als Sweep-Pfad zu verwenden (Allplan 2021a). Da die Krümmung im Projekt aber über drei Einzelbauteile (zwei Flügel und der Überbau) geht, kann es an den Übergängen bei Modellierungsungenauigkeiten zu Sprüngen kommen. Stattdessen sollte eine neue Raumkurve verwendet werden. Wenn nur der Verlauf im Grundriss und der Höhenverlauf bekannt ist, verwendet man die Funktion *3D-Kurve aus Achse und Gradiente*. Diese benötigt einen 2D-Lageverlauf (Achse) und eine 2D-Linie, welche den Höhenverlauf (Gradiente) in Abhängigkeit zur X-Achse darstellt (Vergleichbar mit Lage- und Höhenplan bei einer Trassierung) (Allplan 2021a). Die daraus entstandene Raumkurve muss anschließend noch positioniert werden, dann kann mit der Modellierung des Profils in Abhängigkeit dazu fortgefahren werden.

Da Revit keine freie Modellierung im Raum zulässt, sondern jede Zeichnung eine Arbeitsebene benötigt, muss diese zuvor gewählt werden. Eine Möglichkeit ist, weiterhin mit einer horizontalen Ebene zu arbeiten und den Höhenunterschied über eine Sweep-Verschmelzung zu lösen. Dieses Vorgehen war die Basis für die Kappe, die im rechten Detail von Abbildung 5.6 zu sehen ist. Hier wurde der Pfad als Spline über mehrere Punkte erstellt. Die dadurch in der Höhenentwicklung entstandene Wellenform ist unbrauchbar und entspricht nicht dem Soll. Bei der Verwendung von Kreisbögen tritt dieser Fehler nicht auf und der Sweep wird korrekt erstellt. Als Alternative dazu bietet es sich an eine neue Arbeitsebene zu generieren, welche entsprechend der Längsneigung geneigt ist (blaue Fläche in Abbildung 5.6). Dadurch befindet sich die „Raumkurve“ in der Zeichenebene. Um eine schräge Arbeitsebene zu erstellen, kann ein passend geneigtes Deckenelement als Referenz genutzt werden. Da der Pfad nun auch den Höhenverlauf berücksichtigt und der zu erzeugende Querschnitt damit über die Entwicklungslänge in seinen Maßen und seinem Abstand zum Pfad konstant bleibt, kann von einer Sweep-Verschmelzung (in der Abbildung erkennbar durch zwei grün gestrichelte Profilebenen) auf einen Sweep gewechselt werden. Da die Kappenschürzen wieder vertikal zu erstellen sind, muss die Arbeitsebene wieder gewechselt werden und der Sweep an diesen Stellen mit *Abzugskörpern* angepasst werden. Es ist auf Lücken zu achten, welche durch den Winkel zwischen Profil und Schürze entstehen können.

5.4 Modellierung von Detailbauteilen

5.4.1 Starre Bauteile

Einige Bauteile sind keine Unikate, sondern standardisierte oder zumindest mehrfach verwendete Objekte. Um derartige Körper nicht mehrfach, oder auch für jedes Projekt neu erstellen muss, bieten beide Programme Lösungen für Vorlagen an.

In Revit sind das die ladbaren Familien. Sie haben die gleichen Gestaltungsmöglichkeiten, wie die Projektfamilien, welche in den Beispielen zuvor verwendet wurden. Der Unterschied ist jedoch, dass die ladbaren Familien als extra Datei erstellt werden und in jedes beliebige Projekt importiert werden können. Wenn die Familien einmal geladen sind, bleiben sie auf diesem Stand und müssen bei Änderungen der Originaldatei erneut geladen werden. Es können zudem mehrere Typen innerhalb einer Familie erstellt werden (z.B. eine Tischfamilie mit unterschiedlichen Plattenlängen). (Autodesk 2021a)

Allplan hat drei verschiedene Möglichkeiten. Für nicht variable Bauteile sind dies Makros und punktförmige Einbauteile. Hierbei werden die Bauteile im Projekt selbst gezeichnet und können in der Projektbibliothek oder den projektübergreifenden Bibliotheken gespeichert werden. (Allplan 2021a)

Unveränderliche Bauteile sind z.B. Messpunkte, Anker, die Jahreszahl und Entwässerungsrohre mit fester Länge.

5.4.2 Parametrische Bauteile

Parametrische Bauteile unterscheiden sich von den Vorherigen dadurch, dass sie variable Parameter besitzen und sich an bestimmte individuelle Regeln halten. Das kann zum Beispiel ein Fugenband sein, welches entlang einer Bauteilkante platziert wird und sich dabei der Kantenlänge und an Knicke und Kurven anpasst, oder auch ein Geländer mit variabler Höhe, Pfostenabstand und Neigung.

Deshalb gibt es in Revit parametrische Bemaßungen und Familienvorlagen mit verschiedenen Abhängigkeitsvarianten (Autodesk 2021a). Statt die Maße eines Bauteils anzugeben, können Maßketten auch Werte vorgeben bzw. können diese mit Variablen (mit Formeln) belegt werden. Abbildung 5.7 zeigt ein parametrisches Bauteil in Revit. Das Bauteil ist dabei an Referenzebenen (grün gestrichelt) fixiert und diese wiederum über die Maßketten in ihrem Abstand zueinander angepasst. Maßketten mit Text sind

parametrisch und haben teilweise Formeln hinterlegt (siehe Kapitel 5.4.3). Sind nur Zahlen zu sehen, sind es gewöhnliche Maßketten. Diese können aber auch gesperrt werden, dann verändert sich ihr Wert und damit die entsprechende Bauteillänge nicht, wenn sich andere Parameter ändern.

Es gibt drei verschiedene Parametertypen. Normale Parameter (ohne Bezeichnung) sind die, welche aktiv, durch Eingabe eines Wertes oder ziehen des Bauteils geändert werden können. Dienen Parameter ausschließlich der internen Berechnung, oder sollen über einzelne Typen hinweg nicht geändert werden können, so sind es Exemplarparameter. Diese werden in den Eigenschaften durch das Suffix (*Vorgabe*) gekennzeichnet. Soll einzig eine Information gemessen werden, so sind es Berichtparameter (gekennzeichnet durch (*Bericht*)). Wenn Parameter nicht direkt bearbeitbar sind, werden sie in den Eigenschaften auch ausgegraut. (Autodesk 2021a)

Es kann bei komplexeren Bauteilen dazu kommen, dass sich Abhängigkeiten gegenseitig blockieren bzw. es unübersichtlich wird. Das liegt auch daran, dass nicht alle Maßketten in allen Ansichten sichtbar sind.

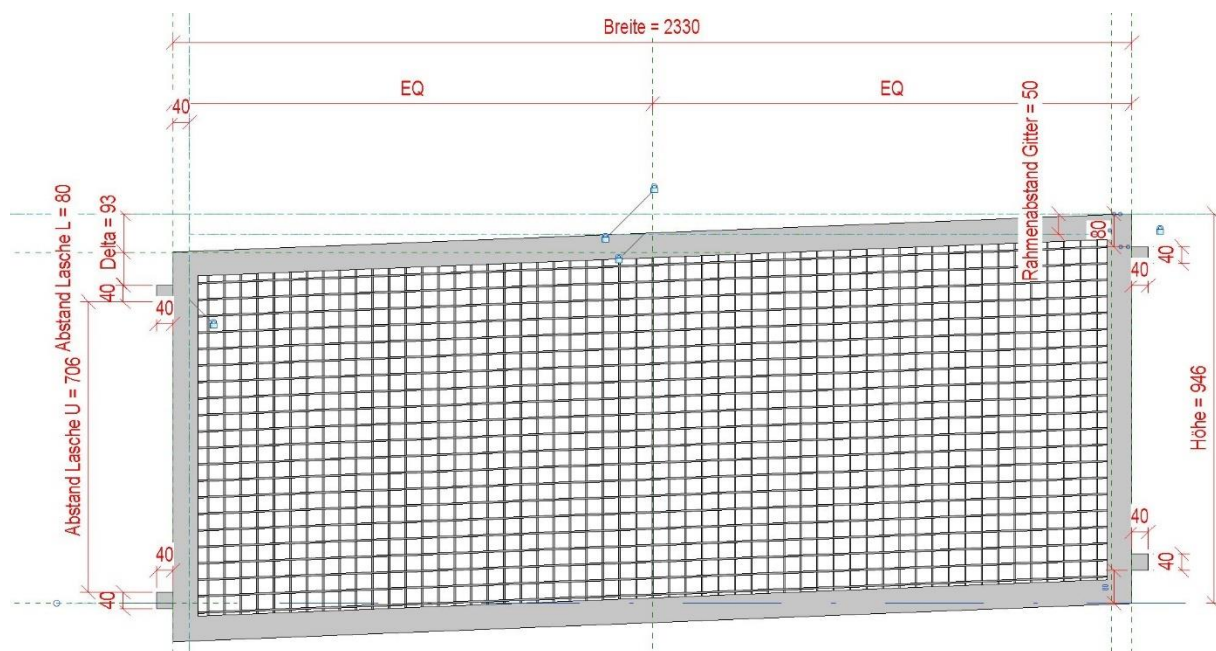


Abbildung 5.7 Parametrische Modellierung in Revit am Beispiel eines Geländer-Gitters

Linien- und Flächenförmige Bauteile mit einfachen Querschnitten können in Allplan über entsprechende Einbauteil-Varianten erzeugt werden (Allplan 2021a). Für komplexere Geometrien, wie das Gitter in der obigen Abbildung, verwendet man dort *Smart-Parts*. Diese werden aber nicht gezeichnet, sondern über ein Script erstellt. Diese Script-Sprache und das dazugehörige Interface erlauben zudem Dialogfenster zu erstellen, in welchen Parameter angepasst werden können (ähnlich zu den Typeneigenschaften in Revit) (Allplan 2020). Dabei können Teilbauteile sowohl vollständig per Script modelliert werden als auch aus Teilbildern importiert werden (sofern nicht parametrisch). Dieses Vorgehen wird im nächsten Kapitel genauer erläutert.

5.4.3 Beispiel: Abschlussprofil für Abdichtung

Als Beispiel für ein parametrisches Bauteil dient ein Abschlussprofil für Abdichtungen (Abbildung 5.8). Dabei handelt es sich um ein linienförmiges Bauteil, welches die Überbaukante beim Befahren vor Abrüchen schützen soll (RIZ-ING, Abs 4). Es besteht aus einem T-Profil, an welches in regelmäßigen Abständen (etwa 250 mm) Anker (siehe folgende Abbildung) angeschweißt werden.

Es ist also ein Bauteil zu erstellen, das aus einem beliebig langen T-Profil besteht und über die komplette Länge mit einer entsprechenden Anzahl an Ankern bestückt ist.

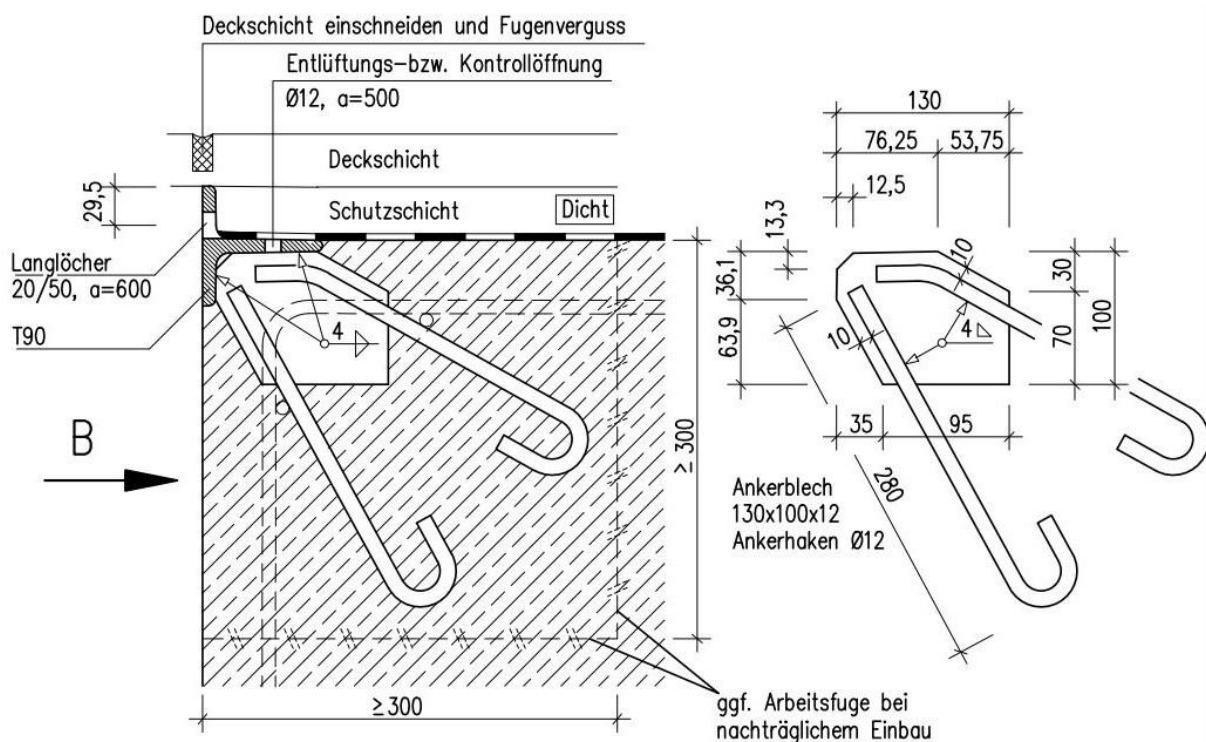


Abbildung 5.8 Detailzeichnung des Abschlussprofils (RIZ-ING, Abs 4)

In Revit wird zuerst ein einzelner Anker, bestehende aus dem Ankerblech und zwei Stahlhaken erstellt. Für diesen wird eine neue Familie mit der Vorlage *Allgemeines Modell* angelegt. So kann der Anker als komplettes Bauteil immer wieder verwendet werden und muss nicht jedes Mal neu erstellt werden. Anschließend wird die eigentliche Familie erstellt. Diesmal wird die Vorlage *Allgemeines Modell Linie* verwendet, da diese bereits einen Parameter besitzt, der es erlaubt die Länge der Familie im Projekt über das Ziehen einer Linie zu bestimmen. Zwischen dem Anfangs- und dem Endpunkt dieser Abhängigkeit wird nun ein gerader Sweep mit einem T90-Profil erstellt. Dieser wird dann an die beiden Endreferenzen gekoppelt, damit dieser sich automatisch der gewünschten Länge anpasst.

Damit die Anker nicht unmittelbar am Bauteilanzfang platziert werden, wird ein Randabstand festgelegt (Abbildung 5.9). Der Wert beträgt in diesem Fall 30 mm. Dieser wurde beliebig gewählt und ist ein konstanter Wert. Auf der zweiten Achse von links wird dann ein Anker platziert und ausgerichtet. Alle weiteren Anker sollen über eine Reihenanordnung platziert werden. Dafür wird die Funktion *Reihe* verwendet, mit der Konfiguration, dass das erste und das letzte Objekt angegeben wird und die Anzahl der Elemente, die gleichverteilt dazwischen liegen sollen (inklusive der zwei Randelemente). Für die Anzahl wird der Parameter *Anzahl Anker* definiert. Die Formel hierfür wird in den Typeneigenschaften (Abbildung 5.9) angelegt. Als Datentyp wurden ganze Zahlen festgelegt, damit der Wert automatisch gerundet wird. Für den Abstand der Anker zueinander wurde der Parameter *Abstand Anker* definiert, welcher keiner Maßkette direkt zugeordnet wird, sondern nur für die Berechnung der Anzahl der Anker verwendet wird. Der Abstand ergibt sich dabei aus dem Quotienten der gerundeten Anzahl an Ankern und der Gesamtlänge des Bauteils. Anschließend wird die Zahl noch um einen zusätzlichen Anker erhöht, da es immer ein Objekt mehr gibt als Abstände dazwischen. Durch die Rundung der Anzahl ist der wahre Abstand nicht mehr exakt 250 mm.

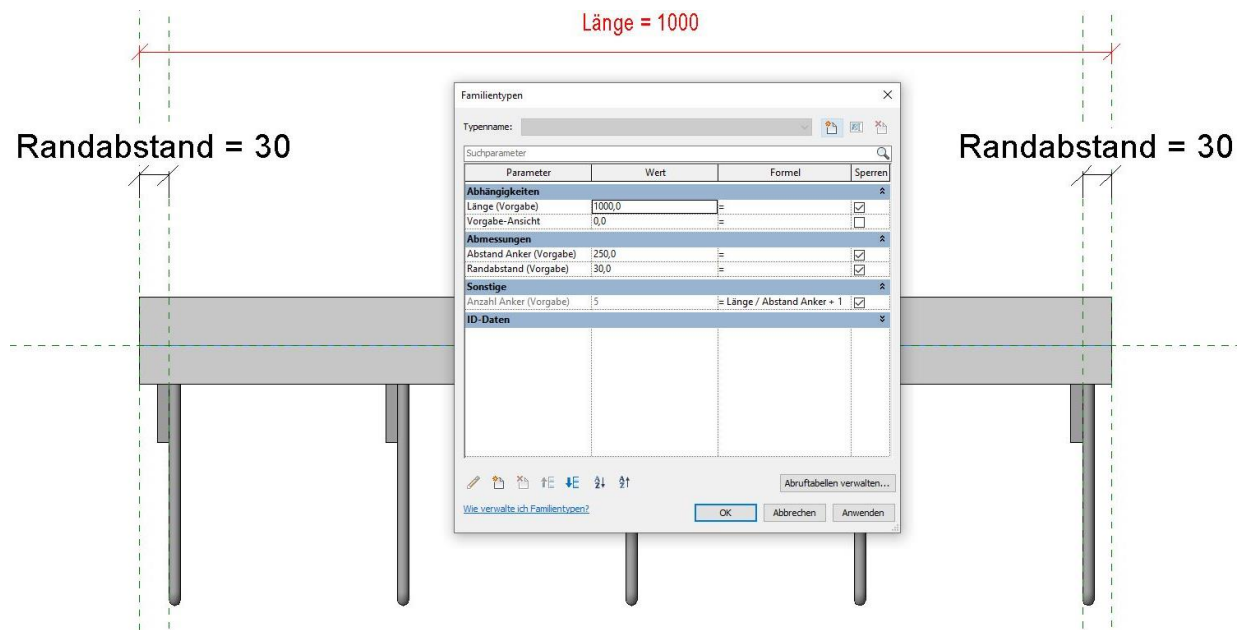


Abbildung 5.9 Darstellung der Parametrik in Revit inklusive der Formeln

Um ein neues SmartPart zu erstellen, öffnet man in Allplan den *SmartParts-Editor* (Abbildung 5.10). Dort sind mehrere Tabs sichtbar, in denen ein SmartPart konfiguriert werden kann. Der erste Tab sind die Parameter, die verwendet werden. Hier werden alle Variablen angelegt, welche später veränderbar sein sollen. Jede davon bekommt zusätzlich einen Startwert. Die drei Parameter *Ref_X*, *Ref_Y*, *Ref_Z* sind immer vorhanden. Sie bestimmen die Außenmaße des Objekts (gestrichelte Box in Abbildung 5.10 rechts). Für das Beispiel wurden noch die Parameter *dicke_profil* und *laenge_profil* definiert. Für beide wurde ein Wert von 0,09 m festgelegt (Maße für T90 Profil). Die Erstellung des Bauteils findet unter *3D-Script* statt.

Das Konzept des Modellierers ist ein relatives Koordinatensystem, welches relativ zum Objekt bewegt werden kann. Bauteile werden immer von dem relativen Ursprung aus erzeugt. Wenn also ein Quader nicht im globalen Ursprung erzeugt werden soll, muss vor der Ausführung des Befehls (in dem Fall *BOX*) das Koordinatensystem dorthin verschoben werden. Dies geschieht mit dem Befehl *TRANS*. Nach dem Befehlsausdruck folgen die Werte für die X-, Y- und Z-Richtung (bei z.B. *TRANSZ* nur die Z-Richtung). Anschließend sollte das Arbeits-Koordinatensystem wieder in den Ursprung geschoben werden, um den Überblick für die nächsten Schritte zu behalten.

Das T-Profil wird hier über zwei Quader erstellt, welche jeweils so lang sind wie das gesamte Bauteil (*REF_X*). Anschließend wird, wie in Revit, die Anzahl der Anker bestimmt. Dabei werden diesmal auch die Randabstände berücksichtigt und da keine Reihen-Funktion verwendet wird, die Abstände berechnet. Die Anker wurden ebenfalls extra vorgezeichnet und anschließend über den Tab *Ressourcen* importiert und automatisch mit der Nummer *01* versehen. Dabei wurde auch ein fester Einfügepunkt definiert. Da die Ankerzeichnung in der X-Y-Ebene liegt, aber in der X-Z-Ebene platziert werden soll, muss das Koordinatensystem nun auch gedreht werden, sodass beide Ebenen übereinstimmen. Anschließend wird ein Ankermodell mit *PLACE 01,1* platziert. Das *01* ist dabei die Objektnummer der importierten Ressource. Damit dieser Vorgang wiederholt werden kann, geschieht dies in einer *while*-Schleife, wie sie auch aus anderen Programmiersprachen bekannt ist. Diese endet, sobald die Position des Koordinatensystems außerhalb des Bauteilbereiches liegt. In jedem Durchgang wird dieses um den Anstand nach „vorne“ geschoben.

Das Script kann jederzeit getestet werden. Das Ergebnis wird in der Vorschau oben rechts angezeigt.

Während in Revit das Bauteil gezogen werden kann wie eine Linie, so muss bei dieser Variante die Länge über den *REF_X*-Wert angegeben werden, welcher die Abmessung in gewünschter Richtung definiert. Eine Erstellung als linienförmiges Einbauteil wäre aber aufgrund der Komplexität nicht möglich gewesen.

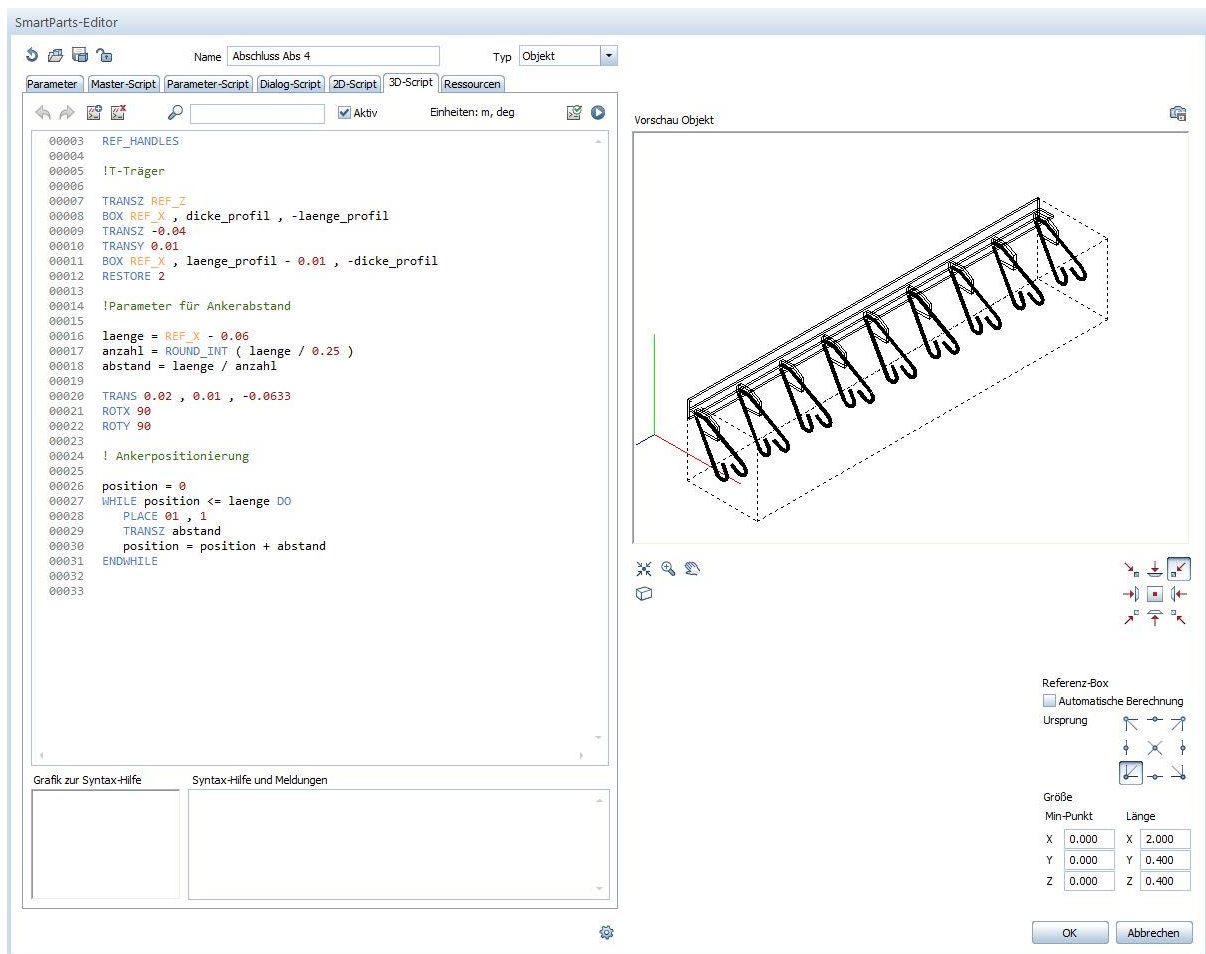


Abbildung 5.10 Allplan SmartParts-Editor

5.5 Eigenschaftensätze

Beide Programme haben unterschiedliche Sätze an Eigenschaften für unterschiedliche Bauteile. Sie erlauben jedoch ebenso selbsterstellte Attribute. Wichtig ist auch, welche Eigenschaften davon exportiert werden können und welche nicht.

Der einzige relevante Unterschied ist die Zuordnung in den Programmen. Während man in Revit bereits bei der Erstellung der Attribute festlegt, für welche Objektkategorien diese gelten und wo in den Eigenschaften diese angezeigt werden (Autodesk 2021a), erfolgt die Erstellung in Allplan unabhängig von der Zuordnung (Allplan 2021a). Diese muss nachträglich und manuell erfolgen. Dadurch, dass planmäßig weniger angezeigt wird, fällt die Orientierung in den Listen leichter, aber es wird mehr Zeit benötigt, die Attribute einzeln zuzuweisen.

In Revit können eigene Attribute über Kategorien hinweg mit den Standardattributen „vermischt“ werden und in Allplan steht nur die *Attribute*-Kategorie für eigene Eigenschaften zur Verfügung.

Wichtig ist aber vor allem die Export-Möglichkeit. Denn die meisten selbst erstellten Attribute sollen auch bei einem Export z.B. in das IFC-Format mit übernommen werden. Dies ist ebenfalls in beiden Programmen möglich (Autodesk 2021a; Allplan 2021a). Es müssen dabei die Programm-Attribute in IFC-Eigenschaften umgewandelt werden. Dafür sind jeweils Konfigurationsdateien nötig, in denen festgehalten wird, unter welchem Eigenschaftensatz (englisch: *Property-Set*) diese Attribute geordnet werden, wie sie benannt werden und welchen Datentyp sie haben sollen. Dafür steht in Allplan ein Zuordnungsassistent zur Verfügung (Allplan 2021a). Für den Export aus Revit muss diese Datei jedoch per Hand geschrieben werden.

5.6 Allplan Bridge und SOFiSTiK Bridge Modeler

Für beide Programme gibt es auch spezielle Brückenbau-Zusätze, welche die Erstellung, Berechnung und Verwaltung erleichtern sollen. Diese sind allerdings auf größere Brückenbauwerke spezialisiert als das Beispielprojekt hinter dieser Arbeit und wurden nicht näher untersucht.

Allplan Bridge ist ein Zusatzprogramm direkt von der Allplan GmbH mit Schnittstelle zum Hauptprogramm Allplan. Dieses Zusatzprogramm bietet die Möglichkeit Brücken über eine Achse zu erstellen und liefert zudem auch einige Vorlagen für Bauteile. Der Fokus liegt dabei auf der parametrischen Modellierung und der Optimierung der Modellierungsabläufe durch ausschließlich auf den Brückenbau abgestimmte Funktionen. So gibt es einzelne Funktionen für den Brückenkörper, Aufbauten, Stützen und mehr. Es gibt zudem Modellieroptionen für Spannbauteile. Ein weiterer Punkt ist die direkte Integration von Tools für die statische Berechnung und Nachweisführung. Auch eine Baufortschrittsmodellierung ist möglich. Dabei ist ein Austausch zwischen Allplan Bridge und dem Hauptprogramm stets möglich. (Allplan 2021e)

Der SOFiSTiK Bridge Modeler ist eine Erweiterung für Revit und wird von der SOFiSTiK AG entwickelt. Damit stehen in Revit selbst in etwa die gleichen Modelliermöglichkeiten zur Verfügung, wie in Allplan Bridge. Auch Verknüpfungen zu Berechnungstools und eine automatisierte Planerstellung sind möglich. (Sofistik 2021)

5.7 Zusammenstellung des Vergleichs

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Eckpunkte des Vergleichs zusammengefasst.

Tabelle 5-1 Zusammenfassung der betrachteten Aspekte von Revit und Allplan

	Allplan	Revit
Programmtyp	CAD- und BIM-Software	Reine BIM-Software
Modellierungsmöglichkeiten	- Für den Hochbau optimierte Basisbauteile - Erstellung sonstiger Bauteile über Extrusions und Rotationsverfahren	
	Erstellung freier Bauteile über 3D-Zeichnungen	Projektfamilien mit separatem Familieneditor
Darstellungsweise und Speicherung der Geometrie	Explizite Darstellungsweise	Familiensystem bzw. implizite Darstellungsweise
Platzierungsmöglichkeiten für Bauteile	Sowohl Abhängigkeiten zu Ebenen als auch eine freie Positionierung von Bauteilen möglich	Bauteile an (Arbeits-)Ebenen gebunden
Detailbauteile	- Makros - Einbauteile - SmartParts (Parametrische Modellierung über Script)	Ladbare Familien: Parametrische Modellierung über Geometrische Abhängigkeiten und Formeln
Attribute	Werden jedem Bauteil individuell zugewiesen	Vorab-Zuweisung zu Bauteilkategorien

6 Zusammenfassung und Fazit

BIM-Modellierung ist im Infrastruktur-Bereich schon länger vertreten. Es sind bereits Regelungen, Verträge und Software speziell für diese Fälle entwickelt worden. Aber diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen und wird z.B. mit *IFC-Bridge* und anderen Projekten immer noch weiterentwickelt.

Der Idealfall, dass alle Anwendungsfälle bzw. der gesamte BIM-Prozess eines Projekts über eine einzelne Software abgewickelt werden, ist im Allgemeinen noch nicht erreicht. Doch sowohl Allplan als auch Revit versuchen dieses Ziel als Universalprogramme zu erreichen, einerseits über Programmerweiterungen und eng verknüpfte Begleitsoftware, aber auch über die Weiterentwicklung des Hauptprogramms. So ist es in neueren Revit-Versionen (aktuell Revit 2022) möglich Wände zu neigen bzw. ihnen geneigte Außenflächen zuzuordnen (wie ein Damm) (Autodesk 2021b), um mehr Anwendungsfälle durch effiziente Vorlagen abzudecken. Allplan hat für ihre neueste Version (Allplan 2022) angekündigt, dass die Geländemodellierung und die Erstellung von Straßen und Entwässerung verbessert werden. Auch die Planung des Bauablaufs, sowie Mengenermittlungen sollen optimiert werden (Allplan 2021c).

Aber auch die in dieser Arbeit verglichenen Versionen eignen sich bereits für die Modellierung von Brücken. Beide Programme beinhalten die nötigen Funktionen, um die teilweise komplexen Bauteile exakt zu erstellen. Es besitzen beide eine Schnittstelle zu IFC, um Projektdaten austauschen zu können. Auch spezielle Bauteile, wie ein Geländer, stellen keine Hindernisse da.

Die Vorteile von Revit sind die grafische parametrische Modellierung, das Familiensystem und die damit verbundenen implizite Darstellung der Bauteile. Durch die Geschlossenheit der Familien bleiben die einzelnen Konstruktionsschritte übersichtlich und nachvollziehbar und sind einfacher zu modifizieren. Dass alle Familien nach dem gleichen Prinzip erstellt werden können, erhöht die Flexibilität. Es muss kein spezielles Verfahren nach den Anforderungen ausgesucht werden und auch ein Wechsel zwischen Parametrisierung und unveränderlichen Parametern ist dadurch stets möglich. Ein Nachteil ist, dass jedes Bauteil an eine Ebene gebunden werden muss und nicht rein über absolute Koordinaten referenziert werden kann. Auch die fehlende Möglichkeit Raumlinien zu zeichnen, erschwert den Modellierprozess.

Diese Fähigkeit besitzt Allplan. Durch die Möglichkeiten frei im Raum zeichnen zu können und eine differenziertere und umfangreichere Auswahl an Funktionen zur Erstellung von 3D-Körpern, wird der Modellierungsprozess des Bauwerks vereinfacht. Die einzelnen Geometrien sind aber nachträglich schwieriger zu bearbeiten als in Revit. Allerdings bleiben die Skizzen, mit denen die Objekte erstellt wurden, erhalten und somit bleibt die Erstellungsinformation auf eine gewisse Weise auch hier erhalten und eine erneute Erstellung ist kein Problem. Das Teilbildsystem erleichtert die Gliederung des Bauwerks und sorgt für eine bessere Übersicht, da einzelne Bauteile oder Hilfs-skizzen auf anderen Teilbildern schnell sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden können und man so nur die Menge an Informationen auf dem Bildschirm hat, welche gerade benötigt werden. Die Modellierung von wiederkehrenden Bauteilen ist in Allplan jedoch umständlicher als in Revit, da es drei verschiedene Möglichkeiten gibt und nicht jede davon z.B. parametrische Abhängigkeiten zulässt. Allerdings werden Standardbauteile in der Praxis auch nicht für jedes Modell neu erstellt, sondern aus Bibliotheken bezogen.

Ein generelles Urteil, welches der beiden Programme besser geeignet ist, kann aus dieser Arbeit nicht geschlossen werden, da zu einem BIM-Prozess noch andere Programmfunktionen und Rahmenbedingungen gehören, als hier berücksichtigt wurden. Für Brücken in der Größenordnung des untersuchten Modells sind aber beide Programme ausreichend nutzbar. Für größere Bauwerke sollte aber auf spezialisierte Software wie Allplan Bridge oder den SOFiSTiK Bridge Modeler zurückgegriffen werden.

In Zukunft wäre auch eine Automatisierung des Planungsprozesses über externe Tools denkbar, weil sich die Autobahnbrücken in dieser Größe nicht sonderlich unterscheiden. Da viele Bauteile durch Richtzeichnungen und weitere Regelungen definiert werden, könnte der Prozess für bestimmte Anwendungsfälle nicht nur teilweise automatisiert werden, wie in Allplan Bridge, sondern vollständig durch ein Programm erledigt werden, welches aus einer Liste an Koordinaten und Einstellungen, Nachweise und Ausführungspläne erstellt.

Literaturverzeichnis

AIA (2013): Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents. Hg. v. American Institute of Architects. Online verfügbar unter https://help.aiacontracts.org/public/wp-content/uploads/2020/03/Digital-Practice_Guide.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2021.

Albrecht, Matthias (2015): Building Information Modeling (BIM) in der Planung von Bauleistungen. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH. Online verfügbar unter https://www.wiso-net.de/document/DIPL,ADIPL__9783954253456131.

Allplan (2020): Allplan 2021 - SmartParts (Schritte zum Erfolg).

Allplan (2021a): Allplan Hilfe. Online verfügbar unter <https://help.allplan.com/Allplan/2021-1/1031/Allplan/index.htm#5464.htm>, zuletzt aktualisiert am 07.04.2021, zuletzt geprüft am 07.09.2021.

Allplan (2021b): Allplan 2021 - ALLPLAN Deutschland GmbH. Online verfügbar unter <https://www.allplan.com/de/produkte/allplan-2021/>, zuletzt aktualisiert am 09.09.2021, zuletzt geprüft am 09.09.2021.

Allplan (2021c): Leak Allplan 2022 - ALLPLAN Deutschland GmbH. Online verfügbar unter <https://www.allplan.com/de/buildability/>, zuletzt aktualisiert am 13.09.2021, zuletzt geprüft am 13.09.2021.

Allplan (2021d): Das Unternehmen - ALLPLAN - Historie - Philosophie - Karriere - Presse - ALLPLAN Deutschland GmbH. Online verfügbar unter <https://www.allplan.com/de/das-unternehmen/>, zuletzt aktualisiert am 14.09.2021, zuletzt geprüft am 14.09.2021.

Allplan (2021e): Allplan Bridge: Die professionelle BIM-Lösung für den Brückenbau. Online verfügbar unter <https://www.allplan.com/de/produkte/bridge/>, zuletzt aktualisiert am 22.09.2021, zuletzt geprüft am 22.09.2021.

Autodesk (2020): Civil 3D + InfraWorks + Revit - Video. Online verfügbar unter <https://videos.autodesk.com/zencoder/content/dam/autodesk/www/pro->

ducts/autodesk-autocad-civil-3d/fy21/road-design/videos/civil-3d-infraworks-revit-video-1920x1080.mp4, zuletzt aktualisiert am 24.04.2020, zuletzt geprüft am 13.09.2021.

Autodesk (2021a): Hilfe | Autodesk. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/DEU/>, zuletzt aktualisiert am 07.09.2021, zuletzt geprüft am 08.09.2021.

Autodesk (2021b): Neues in Revit 2022 | Revit 2022 Funktionen | Autodesk. Online verfügbar unter <https://www.autodesk.de/products/revit/new-features#previous-releases>, zuletzt aktualisiert am 13.09.2021, zuletzt geprüft am 13.09.2021.

Autodesk (2021c): Revit Funktionen | 2022, 2021 Funktionen | Autodesk. Online verfügbar unter <https://www.autodesk.de/products/revit/features>, zuletzt aktualisiert am 13.09.2021, zuletzt geprüft am 13.09.2021.

BIM4INFRA2020 (2019a): BIM4INFRA2020 - TEIL 02 - Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2021.

BIM4INFRA2020 (2019b): BIM4INFRA2020 - TEIL 03 - Leitfaden und Muster für den BIM-Abwicklungsplan (BAP). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/09/BIM4INFRA_AP4_Teil3.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2021.

BIM4INFRA2020 (2019c): BIM4INFRA2020 – TEIL 06 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2021.

BIM4INFRA2020 (2019d): BIM4INFRA2020 - TEIL 08 - Neutraler Datenaustausch im Überblick. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil8.pdf, zuletzt geprüft am 15.09.2021.

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

- buildingSMART International (2019): Industry Foundation Classes (IFC) - buildingSMART International. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>, zuletzt aktualisiert am 20.06.2019, zuletzt geprüft am 09.09.2021.
- buildingSMART International (2020): IFC Bridge - buildingSMART International. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/ifc-bridge/>, zuletzt aktualisiert am 16.09.2020, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- buildingSMART International (2021): openBIM - buildingSMART International. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>, zuletzt aktualisiert am 12.03.2021, zuletzt geprüft am 15.09.2021.
- buildingSMART Technical (2019): Industry Foundation Classes (IFC) - buildingSMART Technical. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2019, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- Dzambazova, Tatjana; Krygiel, Eddy; Demchak, Greg (2009): Introducing Revit Architecture 2010. BIM for beginners. Indianapolis, Ind.: Wiley (Sybex serious skills).
- Egger, Hausknecht, Liebich, Przybylo (2013): BIM-Leitfaden für Deutschland. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bim-leitfaden-deu.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 17.09.2021.
- DIN EN 1990, 2021: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
- Geißler, Karsten (2014): Handbuch Brückenbau. Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung. Berlin: Ernst.
- ISO 16739-1:2018, 11-2018: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema.
- Kompetenzzentrum Planen und Bauen (2020): BIM und Digitalisierung der Bauwirtschaft – Stand und Perspektiven der gegenwärtigen staatlichen Initiativen in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=News.show&id=807>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2020, zuletzt geprüft am 15.09.2021.

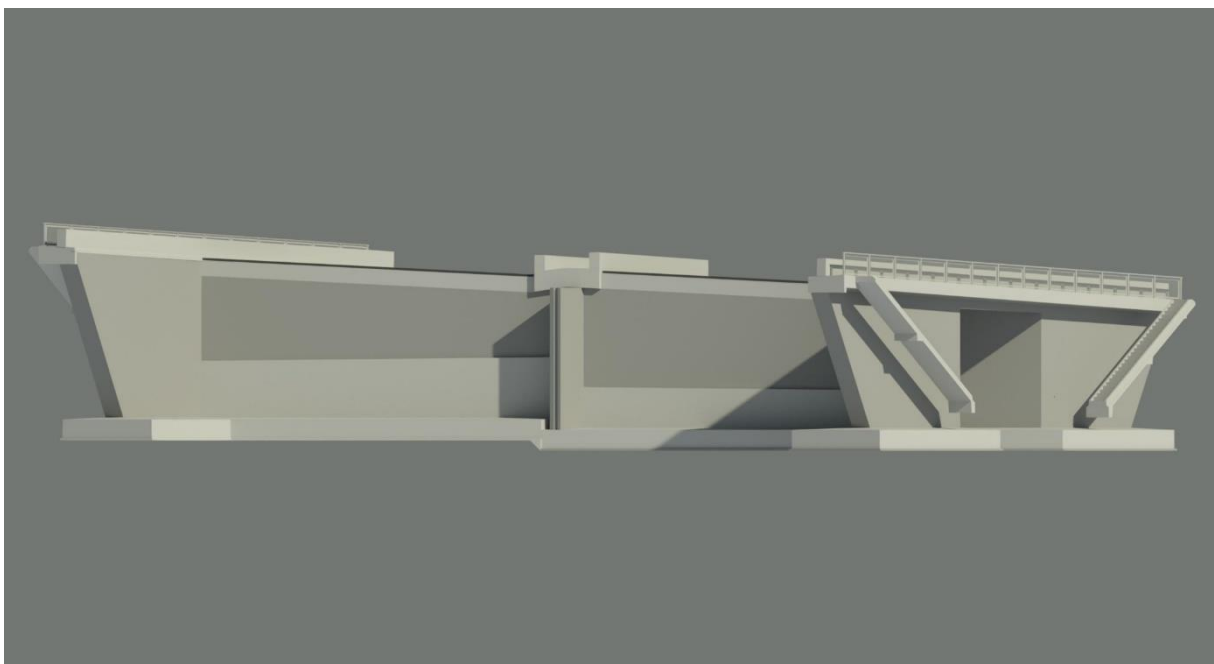
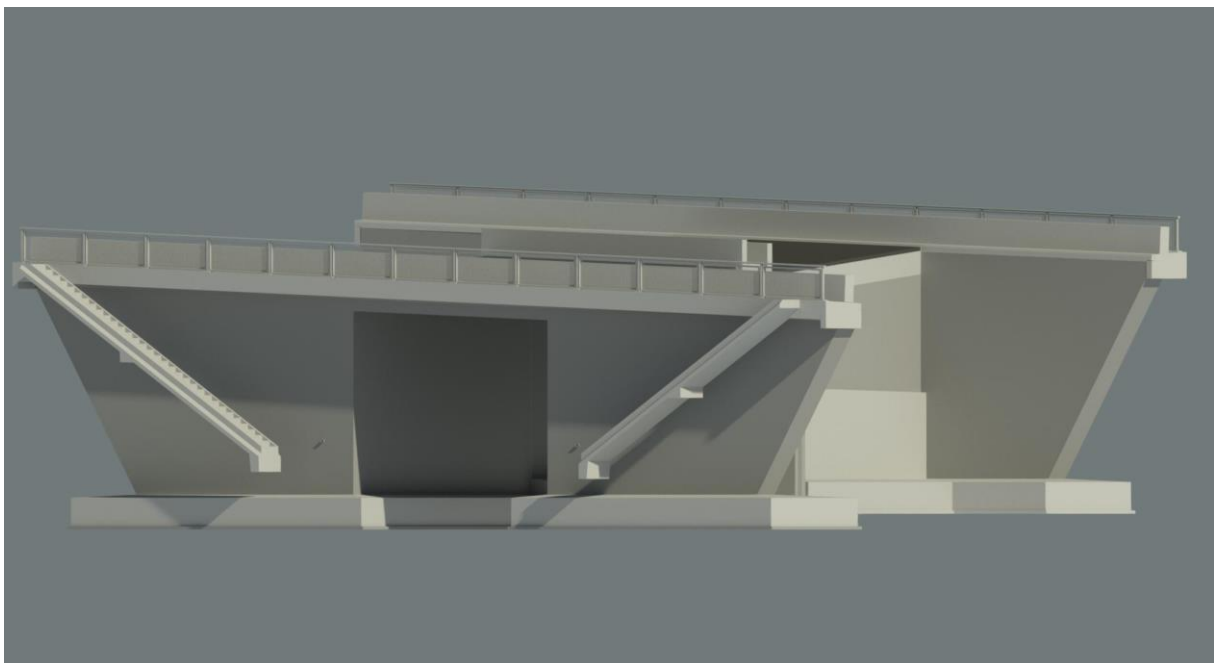
- König, Markus; Amann, Julian; Borrmann, André; Braun, Matthias; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus et al. (2016): Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bim-materialsamm-lung.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.09.2021.
- RIZ-ING, 2021: Richtzeichnungen für Ingenieurbauten.
- Roberti Fabio; Ferreira Decio (2021): Increasing Autodesk Revit Productivity for BIM Projects. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Sacks, Rafael; Eastman, Charles M.; Lee, Ghang; Teicholz, Paul M. (2018): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. Third edition. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Shepherd, David (2015): BIM management handbook. Newcastle upon Tyne: RIBA Publishing.
- Sofistik (2021): Bridge + Infrastructure Modeler. Online verfügbar unter <https://www.sofistik.de/produkte/bim-cad/bridge-infrastructure-modeler>, zuletzt aktualisiert am 22.09.2021, zuletzt geprüft am 22.09.2021.
- Trzeciak, Maciej (2018): Model Exchange between Revit and Allplan using IFC. Online verfügbar unter https://publications.cms.bgu.tum.de/reports/2018_ModelExchangeBetweenRevitAndAllplanUsingIFC_BIM4INFRA.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2021.

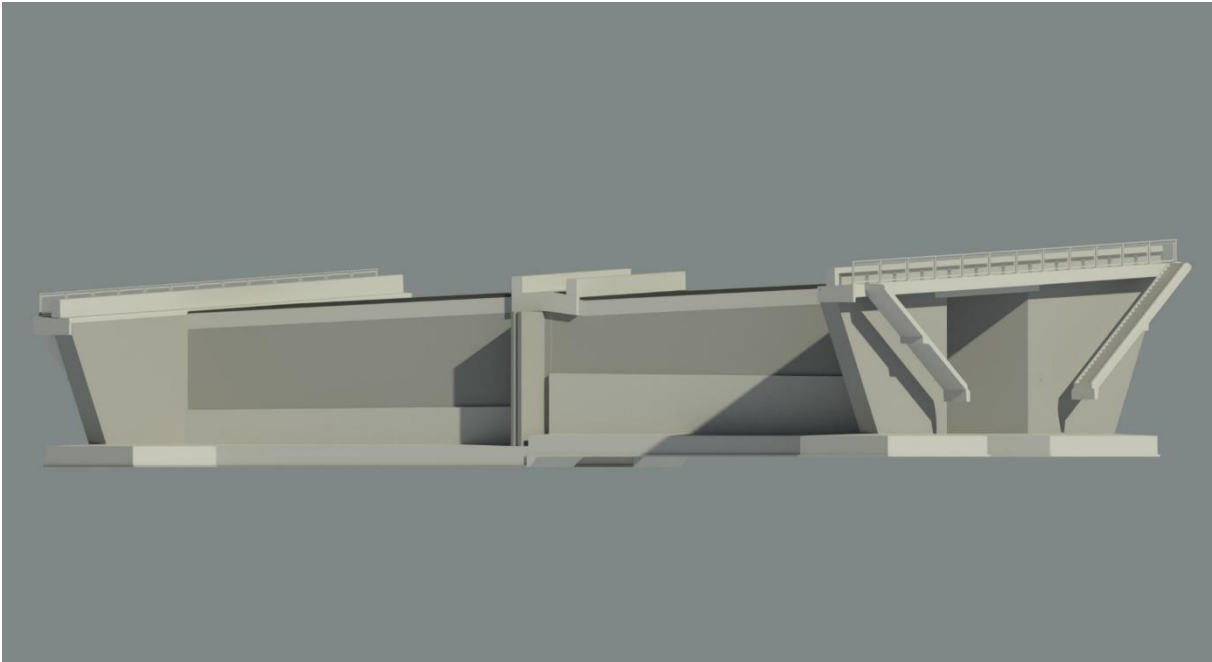
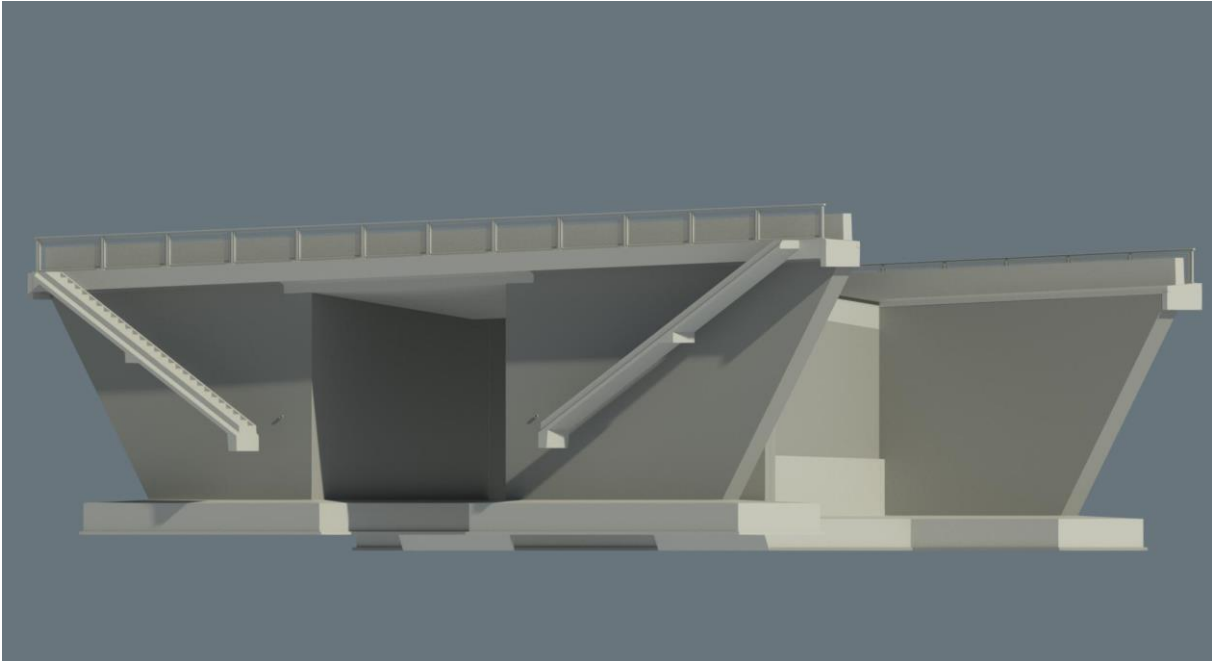
Anhang A

Pläne und Bilder

A.1 Ansichten

Ansichten in der Reihenfolge: Nord, Ost, Süd, West.





Anhang B

Im digitalen Anhang befindet sich folgender Inhalt:

- Das Revit-Modell
- Der in Allplan modellierte Teil
- Ein IFC-Modell basierend auf dem Revit-Projekt

Erklärung

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

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

Vorname Nachname

Ludwig Englert