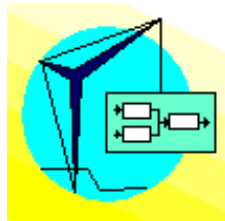


B a u h a u s – U n i v e r s i t ä t W e i m a r

Fakultät Bauingenieurwesen

Professur

Baubetrieb und Bauverfahren



Bachelorarbeit

Objektorientierte Bearbeitung eines Projektes am Beispiel einer Eisenbahnbrücke

Zur Erlangung des akademischen Grades
"Bachelor of Science"

Eingereicht von: Tino Walther
Geboren: 14.11.1987, Friedrichroda
Matrikel-Nr.: 91182

Eingereicht am: 10.10.2011
Reg.-Nr.: MBB/2011/27
Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bargstädt M.Sc.
Zweitprüfer: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Steinmetzger
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Hollermann

Prof. Dr.-Ing. Timon Rabczuk
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Aufgabenstellung

Vorwort

Eine wissenschaftliche Arbeit benötigt die Hilfe und Unterstützung von vielen Seiten. Die vorliegende Arbeit entstand während meines Bachelorstudiums Management [Bau, Immobilien, Infrastruktur] an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar.

An dieser Stelle gebührt der Dank all denen, die mir bei der Erstellung und Entstehung dieser Bachelorarbeit tatkräftig zur Seite standen.

Mein Dank gilt der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, insbesondere Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc., für die Übernahme der Erstbetreuung und die Bereitstellung des Themas und sein Einverständnis, meine Bachelorarbeit an seiner Professur anfertigen zu dürfen.

Besonders danken möchte ich meinem Betreuer Herrn Dipl. Ing. (Fh) Sebastian Hollermann, der mir durch seine anregenden Fragen und seine hohe Diskussionsbereitschaft vielfältige Denkanstöße gab und mich stets motivierte.

Ein weiterer Dank gilt Frau Dr. Jäger, für die sorgfältige Korrekturlesung und Ihren konstruktiven Vorschlägen mancher Formulierungen.

Ferner möchte ich meinen Eltern und Freunden danken, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Weimar, im September 2011

Tino Walther

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	I
Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 EINLEITENDE EINSTELLUNG	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	1
1.3 Vorgehensweise.....	2
2 BEGRIFFLICHKEITEN.....	4
3 DATEN EINES PROJEKTES	7
3.1 Zusätzliche Informationen und Eigenschaften eines Objektes	7
3.1.1 Woher bezieht man die Informationen	7
3.1.2 Notwendige Informationen und Eigenschaften.....	9
3.1.3 Form der bezogenen Informationen.....	12
3.2 Wiederverwendbarkeit der Daten in anderen Projekten.....	14
3.3 Objektorientierte Projektbearbeitung	14
4 ELEMENTE BEZIEHUNGSWEISE KLASSEN DES PRODUKTMODELLS	17
4.1 Elemente des Produktmodells einer Brücke	17
4.2 Attribute und Eigenschaften der projektrelevanten Elemente.....	17
4.2.1 Element Pfeiler	17
4.2.2 Element Überbau.....	21
4.3 Abhängigkeit der Elemente zueinander	26
4.4 Modell in SysML	27
4.4.1 SysML	27

4.4.2	SysML - Modell Pfeiler	29
4.4.3	SysML - Modell Überbau	31
4.4.4	SysML - Modell Brücke	32
4.5	Erstellen der projektrelevanten Familien im Projektmodell Revit	34
4.5.1	Autodesk Revit und die Bedeutung von Klassen/Familien	34
4.5.2	Projektrelevante Familie Pfeiler	36
4.5.3	Projektrelevante Familie Überbau	38
5	VERKNÜPFUNG VON BAUVERFAHREN MIT DEN ELEMENTEN DES PRODUKTMODELLS ALS GRUNDLAGE DES ABLAUFMODELLS	41
5.1	Zusammenhänge zwischen Elementen des Produktmodells und der Bauverfahren im Brückenbau	41
5.2	Möglichkeiten der Modellierung	46
5.2.1	Petri-Netze	46
5.2.2	EPK's	47
5.2.3	UML	49
6	ERSTELLEN DES PRODUKTMODELLS IN REVIT DURCH INSTANZIIEREN DER KLASSEN (FAMILIEN) ZU EINEM PRODUKTMODELL	52
7	SCHLUSSBETRACHTUNG	55
7.1	Zusammenfassung	55
7.2	Ausblick	56
Anhang A:	Allgemein	XII
Anhang B:	Pfeiler	XV
Anhang C:	Überbau	XVIII
Anhang D:	Brücke	XXV
Thesen		XXIX
Literaturverzeichnis		XXXI
Eidesstattliche Erklärung		XXXV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Relevante Daten in Bauprojekten	11
Abbildung 2: Projektbearbeitung mit redundanten Bearbeitungsschritten.....	15
Abbildung 3: Projektbearbeitung ohne redundante Bearbeitungsschritte	16
Abbildung 4: Draufsicht Botnia-Pfeiler.....	19
Abbildung 5: Gesamtansicht Botnia- Pfeiler	20
Abbildung 6: Vorderansicht Botnia-Pfeilerkopf	21
Abbildung 7: Brücke mit Plattenquerschnitt.....	22
Abbildung 8: Brücke mit Plattenbalkenquerschnitt	22
Abbildung 9: Bewehrter Trog eines Hohlkastenquerschnittes	23
Abbildung 10: SysML Aufbau Blockdiagramm.....	28
Abbildung 11: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Pfeiler.....	29
Abbildung 12: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Überbau	31
Abbildung 13: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Brücke.....	33
Abbildung 14: Klassifizierung der Elemente	35
Abbildung 15: Familientypen Botnia-Pfeiler.....	37
Abbildung 16: Seitenansicht des Überbaus mit zusammengesetzten Profilen.....	38
Abbildung 17: Familie Überbau	40
Abbildung 18: Arbeitsablauf Vorschubrüstung	43
Abbildung 19: Darstellung Petri-Netz	46
Abbildung 20: Beispiel EPK Abbildung.....	49
Abbildung 21: Produktmodell Brücke	53
Abbildung 22: Beispiele für Brückenlager.....	XII
Abbildung 23: Beispiel für ein Aktivitätsdiagramm.....	XIV
Abbildung 24: Gesamtansicht Botnia-Pfeilerkopf	XV
Abbildung 25: Herstellung der Pfeiler mit Trägerschalung.....	XV

Abbildung 26: SysML-Modell Pfeiler	XVI
Abbildung 27: Parametereigenschaften	XVII
Abbildung 28: SysML-Modell Überbau	XVIII
Abbildung 29: Profil Botnia.....	XIX
Abbildung 30: Profil Botnia-Koppelfuge.....	XIX
Abbildung 31: Profil Botnia -Stützquerträger	XX
Abbildung 32: Familientypen Profil Botnia.....	XX
Abbildung 33: Familientypen Profil Botnia-Koppelfuge.....	XXI
Abbildung 34: Familientypen Profil Botnia-Stützquerträger	XXI
Abbildung 35: Unterfamilien/Unterobjekte des Überbaus	XXII
Abbildung 36: Gesperrter Parameter beim Profil Botnia-Stützquerträger	XXII
Abbildung 37: Familientypen der Hauptfamilie Überbau.....	XXIII
Abbildung 38: Familie Überbau als Drahtmodell	XXIII
Abbildung 39: Betonierprozesse Überbau.....	XXIV
Abbildung 40: SysML-Modell Brücke	XXV
Abbildung 41: Roads and Terrain	XXVI
Abbildung 42: Roads and Terrain definition; Road configuration.....	XXVI
Abbildung 43: Roads and Terrain definition; Horizontal alignment	XXVII
Abbildung 44: Roads and Terrain definition; Vertical profile	XXVII
Abbildung 45: Roads and Terrain definition; Cross sections	XXVIII
Abbildung 46: Bauteillisten in Revit.....	XXVIII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektabhängige und Projektunabhängige Daten.....	12
Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Kastenquerschnitten.....	25
Tabelle 3: Notwendige Informationen WIENDAHL	XIII

Abkürzungsverzeichnis

Bdd	Blockdefinitionsdiagramm
BIM	Building Information Modeling (dt. Gebäudedaten-Modellierung)
EDV	Elektronische Daten Verarbeitung
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
Ibd	Internes Blockdiagramm
IFC	Industry Foundation Classes (Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen)
NC	Numerical Control (numerische Steuerung)
REFA	Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung (1924), seit 2000 REFA Bundesverband e.V. (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung)
SysML	Systems Modeling Language
UML	Unified Modeling Language
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional

1 EINLEITENDE EINSTELLUNG

1.1 Problemstellung

Bauprojekte und Bauwerke sind in der Regel Unikate, für die meist eine komplette und sehr aufwendige Neuplanung in allen Bereichen des Projektes durchzuführen ist. Der Umfang der Verschiedenartigkeit der einzelnen Planungsaufgaben bedingt eine Vielzahl von Projektbeteiligten. Die Bauplanung ist ein kreativer und iterativer Prozess der durch Informationen rund um das Bauprojekt geleitet wird. Der Prozess wird durch häufige Änderungen und neu hinzukommende Eingangsdaten nach Abstimmung zwischen den jeweiligen Fachplanern generiert. Aufgrund immer komplexerer Verfahrenstechniken und steigender Forderungen an die Wirtschaftlichkeit bei gleichbleibenden bzw. kürzeren Entwicklungsphasen sind Projektbeteiligte schon in frühen Planungsphasen von enormem Druck geprägt. Mithilfe verschiedenster Fachanwendungen ist es nun die Aufgabe des Projektmanagers die neuen organisatorischen Herausforderungen bei der Planung des Ausführungsprozesses zu bewältigen. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden wird im Baugeschehen immer mehr Wert auf die Simulation und die objektorientierte Modellierung von Bauteilen und Bauprozessen gelegt.

1.2 Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit soll analysiert werden, welche Informationen zur Bearbeitung eines Projektes notwendig sind und in welcher Form diese zu Verfügung stehen. Außerdem soll hierbei differenziert werden, inwiefern Informationen projektabhängig bzw. projektunabhängig sind.

Anschließend sind die Bauteiltypen und deren Eigenschaften sowie die Funktionen einer Brücke zu identifizieren und zu beschreiben. Folgend sind die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Bauteiltypen darzustellen. Da eine Brücke ein sehr komplexes Bauwerk ist und aus vielen verschiedenen Bauteiltypen besteht, wird sich diese Arbeit vorwiegend mit den zum Unterbau gehörenden Pfeilern und dem Überbau beschäftigen. Da eine Aufarbeitung aller Brückenelemente den zeitlichen Rahmen wesentlich überschreiten würde.

Die Darstellung der von einander abhängigen Bauteilklassen wird formell in SysML erfolgen und darüber hinaus sollen, der objektorientierten Bearbeitung gerecht zu werden, anhand des vorgegebenen realen Bauwerks der „Eisenbahnbrücke“ die Klassen der Bauteiltypen (Familien) in Autodesk Revit 2011 erstellt werden.

Dem nun folgenden Teil sind die vorher erstellten Klassen von Bauteiltypen, Prozesse und Abläufe an Bauverfahren zu zuordnen.

Im Anschluss an diese objektorientierte Bearbeitung ist durch Instanzieren der erstellten Klassen (Familien) von Bauteilen ein Produktmodell des realen Brückenbauwerks in Autodesk Revit 2011 zu erstellen.

1.3 Vorgehensweise

Nach einer Erläuterung der Problemstellung und dem Ziel der Arbeit, erfolgt im zweiten Kapitel die Definition der grundlegendsten Begriffe der allgemeinen Modellierung und Simulation, sowie alle anderen Fachbegriffe die in dieser Arbeit Verwendung finden und Verständnishaft von Bedeutung sind.

Das dritte Kapitel befasst sich vorwiegend mit den zugebrauchenden Daten und Informationen, die für das Bauwerk selbst von großer Bedeutung sind, aber auch eine wesentliche Rolle in der objektorientierten Modellierung und Simulation spielen um den Bauablauf und das Baugeschehen besser planen und nachvollziehen zu können. Nach einer Analyse und Vorstellung dieser Informationen werden diese anschließend in projektabhängige und projektunabhängige Daten unterteilt.

Kapitel 4 dient zunächst als vorbereitendes Kapitel für die Modellierung der Eisenbahnbrücke. Nach einer Vorstellung der einzelnen zu modellierenden Elemente, Pfeiler und Überbau, werden die wesentlichen Bauteilklassen mittels der Notation in SysML detailliert erläutert. Dies ist nach dem Erstellen der projektrelevanten Familien in Autodesk Revit 2011 mit der wichtigste Teil der Arbeit, da in diesen Diagrammen alle wichtigen Beziehungen und Randbedingungen zur Erstellung der Familien unter vorgegebenen Eingangsparametern gezeigt werden. Im darauffolgenden Teil werden nun die Familien in Revit erzeugt und beschrieben.

Das fünfte Kapitel beschreibt und erläutert spezifische Abhängigkeiten der angewendeten Bauverfahren zur Herstellung des vorhandenen Brückenbauwerks, dabei wird Verständnishaft kurz auf das verwendete Bauverfahren eingegangen. Außerdem wird es sich

folgend, mit den Möglichkeiten der Modellierung dieser Bauverfahren auseinandersetzen und jeweilige Abhängigkeiten definieren.

Im sechsten Kapitel wird nun, aus den vorhergehenden erzeugten Familien durch instanzieren, das Produktmodell der Eisenbahnbrücke erzeugt und dokumentiert.

Das siebte und auch letzte Kapitel stellt eine Zusammenfassung der Ausarbeitung dar und schließt mit einem Ausblick diese Arbeit ab.

2 BEGRIFFLICHKEITEN

Bestimmte Fachbegriffe und deren eindeutige Definition sind für das Verständnis dieser Arbeit von großer Bedeutung. Demzufolge soll zunächst die Bedeutung der Grundlegendsten Begriffe der allgemeinen Modellierung und Simulation, sowie alle anderen Fachbegriffe die in dieser Arbeit Verwendung finden, definiert werden.

- **Objektorientierung:** Die Objektorientierung beinhaltet Daten und dazugehörige Methoden, welche in Einheiten zusammengefasst werden. Der beschreibende Fachbegriff nennt sich Objekt und wird jeweils durch Klassen definiert. Sie stellt eine Modellierung realer Probleme bzw. Aufgaben in einem Programmierparadigma dar.¹
- **Klasse:** Unter einer Klasse (auch Objekttyp genannt) versteht man ein abstraktes Modell, welches als Bauplan für die Abbildung von realen Objekten in dementsprechende Software Objekte dient. Die Klasse definiert somit die Methoden (Operationen) und Attribute (Eigenschaften), Verallgemeinernd kann man auch sagen, dass eine Klasse dem Datentyp eines Objekts entspricht. Außerdem sind Klassen für das Prinzip der Vererbung bekannt, das bedeutet das Klassen in einer hierarchischen Beziehung stehen können und abgeleitete Klassen somit alle Eigenschaften und Methoden der Basisklasse enthalten.²
- **Objekt:** Ein Objekt bezeichnet in der objektorientierten Programmierung ein Exemplar eines bestimmten Datentyps bzw. einer bestimmten Klasse. Der Zustand eines Objektes wird durch jeweils festgelegte Attribute definiert und das dazugehörige Verhalten durch die Methode beschrieben, somit ist jedes Objekt von anderen trennbar und eindeutig identifizierbar. Objekte die einen vergleichbaren Aufbau haben, können zu einer Menge zusammengefasst werden, die ihrerseits eindeutig identifizierbar sind. Das Objekt kann somit in mehr als einer Menge auftreten.³

¹ Vgl.: Richter, 2009, S. 14

² Vgl.: Richter, 2009, S. 14

³ Vgl.: Richter, 2009, S. 14

- **Methoden:** Der Ingenieur verwendet zur Modellbildung verschiedenste Methoden, sie wird allgemein als Sammelbegriff sowie auch synonym unter anderem für Prozeduren und Funktionen verwendet. Die Methode charakterisiert das dynamische Verhalten eines Objektes oder einer Klassen von Objekten.⁴
- **Attribut:** „Das Attribut definiert eine Struktureigenschaft der Klasse. Die Beschreibung besteht aus Sichtbarkeit, Name, Typ und einer Multiplizität.“⁵ Es ist somit ein strukturelles Merkmal einer Klasse und spezifiziert damit einen Teil der Struktur von Objekten die für eine bestimmte Klasse gebildet werden.
- **Brückenlager:** „Die Brückenlager sind die Kontaktpunkte zwischen dem Über- und Unterbau einer Brücke. Sie übertragen die Auflagerkräfte des statischen Systems und müssen so beschaffen sein, dass sie die erforderlichen Dreh- und Kippbewegungen sowie die Verschiebung des statischen Systems ermöglichen.“⁶ (Abbildung 22, Anhang A: S.XII)
- **Partialmodell:** Bezieht sich ein Organisationsmodell nur auf Teilbereiche eines Unternehmens, handelt es sich um ein Partialmodelle wie z.B. häufig Gruppenarbeit und Teammodelle.
- **Rendering:** Unter der EDV Bezeichnung Rendering versteht man die Berechnung fotorealistischer, drei dimensionaler Abbildungen. Der wesentliche Aspekt beim Rendering ist ein Drahtmodell in ein Volumenmodell in 3D-Darstellung umzurechnen.⁷
- **Clash Detection:** Kollisionserkennung, Clash Detection ist ein Tool welches sicherstellt, dass die Arbeitsschritte auch unter realen Bedingungen durchgeführt werden können und geometrische Konflikte rechtzeitig entdeckt werden.
- **Sweep:** Bearbeitungswerkzeug in Autodesk Revit 2011, indem eine 3D-Form anhand eine frei wählbaren Pfades aus einer gezeichneten 2D-Form generiert wird.
- **Extrusion:** Bearbeitungswerkzeug in Autodesk Revit 2011, indem eine gezeichnete 2D-Form als Basis verwendet wird um eine 3D-Form zwischen einem Start- und Endpunkt zu erzeugen.

⁴ Vgl.: Laabs, 1998, S.4

⁵ Vgl.: Weilkiens, 2006, S. 225

⁶ Vgl.: Holst, 2004, S.731

⁷ Vgl.: <http://www.linguee.de/englisch-deutsch/uebersetzung/renderings.html>

- **Parametrisch:** „Der Begriff "parametrisch" bezieht sich auf die Beziehungen zwischen allen Elementen in einem Modell, die die Koordination und die Änderungsverwaltung in Revit ermöglichen. Diese Beziehungen werden entweder automatisch durch die Software oder von Ihnen erstellt.“⁸ Die Zahlen oder Eigenschaften, die diese Beziehung in der Mathematik oder mechanischem CAD definieren, werden Parameter genannt. Somit wird ermöglicht das beliebige Änderungen in einem Projekt an einer bestimmten Stelle, durchgängig im gesamten Projekt durchgeführt werden.⁹

⁸ Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0008-Was_bede8

⁹ Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0008-Was_bede8

3 DATEN EINES PROJEKTES

3.1 Zusätzliche Informationen und Eigenschaften eines Objektes

Um Bauwerke realisieren zu können bedarf es eine Menge an Informationen und Daten, welche sorgfältig aufgearbeitet werden müssen, um diese Projekt- bzw. Objektbezogen einsetzen zu können. Die folgenden Gliederungspunkte befassen sich ausschließlich mit dem Themenbereich von Informationen und Daten die für ein Projekt notwendig sind, woher diese bezogen werden und in welcher Form diese vorliegen und generell von nutzen sind.

3.1.1 Woher bezieht man die Informationen

Die meisten Informationen und technische Daten zu einem Projekt erhält man wohl nach HOAI festgelegter Leistungsphase fünf, der Ausführungsplanung. Denn ist diese Leistungsphase abgeschlossen, so haben alle voran gehenden Leistungsphasen, Entwurfsplanung oder Genehmigungsplanung, dazu beigetragen das das Bauvorhaben nun realisiert werden kann. Die Ausführungsunterlagen enthalten sämtliche Angaben, die zum Erstellen eines Bauwerks erforderlich sind. Dies sind z.B.:

- Maße
- Materialangaben
- Angaben zur Qualität und Beschaffenheit
- Toleranzen
- Anfangs- und Endtermine
- Verarbeitungshinweise.¹⁰

Aber nicht nur Daten aus den Ausführungsunterlagen sind für den Ingenieur wichtig, sondern auch stets durchgängig gesammelte und aktualisierte Daten. Das Projektieren und

¹⁰ Vgl.: Werner, 2010, S.133

Planen von Bauwerken ist eine Ingenieur Tätigkeit, welche sich vornehmlich durch die Erarbeitung und Verwaltung sehr umfangreicher Datenmengen auszeichnet. So sind der Aufbau und die Nutzung technischer Datenbanken unter EDV-gestützten Ingenieursystemen stets nachvollziehbar. Man unterscheidet dabei in drei verschiedene Datenbankbereiche:

- Projektdatenbank
- Lösungsmitteldatenbank
- Know-how-Datenbank

Die Projektdaten bzw. Projektdatenbanken sind gekennzeichnet durch die Sammlung aller während eines Projektes anfallenden und zu dokumentierenden Daten, welche sich bezüglich ihrer Projektstruktur und der ausgewählten Lösungsmittel, definieren. Der Aufbau ergibt sich ursächlich aus der Form des vorhandenen Projektstrukturplanes, da dieser nicht nur die technologische Struktur, sondern auch die am Gesamtablauf und am Projektmanagement orientierte Gliederung des Prozesses wieder gibt.

Lösungsmitteldatenbanken definieren sich über sämtliche technologische, kommerzielle sowie lieferungsbedingte Daten, die bei der Auswahl eines Lösungsmittels automatisch in die vorab reservierten Felder der hierarchisch geordneten Projektdatenbanken aufgenommen werden. So liegen den Planern meist in Form von technischen Datenblättern oder Katalogen, Daten der einzusetzenden Lösungsmittel (bestimmte Baumaschinen, Baustoffe usw.), der Fremd- und Zulieferfirmen vor. Dabei beschränkt man sich immer mehr auf digitalisierte Informationen der Fremd- und Zulieferfirmen, da sich diese ohne aufwendige und mühsame Datenaufbereitung übernehmen lassen.

Aus nun bereits realisierten und abgeschlossenen Projekten profitiert der Ingenieur von einer Reihe von Eigenschaften und Erfahrungen, da er nun die Daten bei einem Angebot in einfacher und schnell verfügbarer Form für Folgeaufträge zielgerecht nutzen kann. Diese wertvollen Daten und Erfahrungen führt man in sogenannten Know-how-Datenbanken.¹¹

¹¹ Vgl.: Abeln, 1990, S. 406 ff.

3.1.2 Notwendige Informationen und Eigenschaften

Notwendige Daten bzw. Informationen und Eigenschaften, sind all die, die zu einem erfolgreichen Endprodukt, in diesem Fall einer Eisenbahnbrücke, führen. Diese Informationen lassen sich wiederum in drei Teilbereiche gliedern:

- konstruktive Auftragsdaten
- dispositive Auftragsdaten
- operative Fertigungsdaten

„Konstruktive Auftragsdaten stellen die Gesamtheit der Daten dar, die das Produkt in seinen Entstehungs- und Bearbeitungsschritten beschreibt und dokumentiert. Zwischen diesen Daten bestehen Beziehungen, z.B. sind Geometrie- und zugehörige Arbeitsplandaten oder das 3D-Modell mit der korrespondierenden Zeichnung und den Technologiedaten verknüpft. Spezielle Eigenschaften des Produkts (z.B. Farbe, Preis) sind ebenso speicherbar“¹² Zu diesen Daten gehören:

- **Geometriedaten:** Durch die Geometriedaten werden Zusammenstellungen in Form ebener oder räumlicher Modelle mit entsprechenden Zeichnungen beschrieben. Zu diesen zählen alle Einzelteile und Baugruppen des Projektes, sie weisen Verbindungen zu verschiedenen bautechnischen Normen sowie vorkonstruierten Elementen auf.
- **Berechnungsdaten:** Berechnungsdaten definieren sich über die technischen Merkmale einer Konstruktion, so sind dies im Brückenbau beispielsweise mechanische, statische oder auch thermische Kennwerte, welche den jeweiligen Geometriedaten zugeordnet sind.
- **Konstruktionsstückliste:** Sie beschreibt die mengenmäßige Zusammensetzung eines Bauwerks aus all seinen Einzelteilen. Die jeweils Untergeordnete Stückliste gibt dabei an, welche Menge eines Baustoffes oder bestimmten Teils benötigt wird.¹³
- **Arbeitsplandaten:** Arbeitsplandaten beschreiben die Vorgangsfolge zur Fertigung eines Bauteils, einer Gruppe oder gegeben falls eines Erzeugnisses. Verwendetes

¹² Vgl.: Abeln, 1990, S.495

¹³ Vgl.: Abeln, 1990, S.495

Material für den Arbeitsvorgang, Betriebsmittel, der Arbeitsplatz sowie Vorgabezeiten und die Lohngruppen sind hierbei anzugeben.¹⁴

- **NC-Daten:** NC-Daten sind Steuerdaten für spezifische Werkzeugmaschinen, welche in einer modernen Produktion unverzichtbar sind. Es wird eine optimale Abstimmung zwischen Konstruktion und anschließender Fertigung erzeugt. Im Brückenbau ist dies allerdings eher nicht zu finden, da hierbei von einer reinen industriellen Herstellung eines Werkstückes ausgegangen wird.

Artikelstammdaten, Lieferantenstammdaten, Kundenstammdaten, auftragsneutrale Stücklisten und Arbeitspläne, Materialtabellen, und Kapazitätspläne sind alles auftragsneutrale Daten der Fertigungseinrichtung und gehören somit den dispositiven Auftragsdaten an. Da die dispositiven Auftragsdaten hauptsächlich aus dem Bereich der industriellen Fertigung kommen und sich auch auf diesen beziehen und somit in einem Bauprojekt recht selten Verwendung finden, wird an dieser Stelle nicht genauer auf diesen Bereich eingegangen. Gleiches gilt auch für die verschiedenen Datenarten der operativen Fertigungsdaten, welche aus Lagerort- und Materialstammdaten, Werkzeugdaten, Arbeitsplatzstammdaten, Zustandsdaten, NC-Steuerdaten sowie Fertigungsauftragsdaten bestehen.¹⁵ WIENDAHL hingegen gliedert die für ein erfolgreich abzuwickelndes Projekt notwendigen Informationen in drei Bereiche. Das wären technologische, geometrische und organisatorische Informationen.

Unter den technologischen Informationen werden werkstoffbezogene Angaben beschrieben, dazu gehören ebenfalls Qualitätsbezogene Angaben, die sich auf technische Spezifikationen beziehen, bestimmte Abnahmebedingungen, Liefervereinbarungen, Teilekennzeichnungen usw.. Form und Lage werden durch geometrische Daten bestimmt, dabei werden technische Zeichnungen zur Erläuterung der Darstellung des jeweiligen Werkstücks eingesetzt. Sofern Maß-, Form-, Lage- sowie Allgmeintoleranzen in den jeweiligen Zeichnungen vorhanden sind, sind die geometrischen Informationen vollständig. Zu den organisatorischen Informationen werden unterlagenbezogene Angaben gezählt, so z.B. Name des Unternehmens, Erstellungsdaten, Freigabevermerke usw.. Dabei sind die meisten dieser Angaben im Schriftfeld der technischen Zeichnungen zu finden, sach- und

¹⁴ Vgl.: Wiendahl, 2005, S.199 f.

¹⁵ Vgl.: Abeln, 1990, S.496 ff.

teilebezogene Angaben dienen meist der unternehmensinternen Verwaltung¹⁶ (Tabelle 3, Anhang A: S.XIII).

Zahlen, Fakten und deren Zusammenhänge sind nach REFA, Daten im Bauwesen. Diese werden für Planung, Steuerung, Kontrolle und Entlohnung verwendet. So werden Planungsdaten bei der Vorkalkulation und Kontrolldaten bei der Nachkalkulation eingesetzt

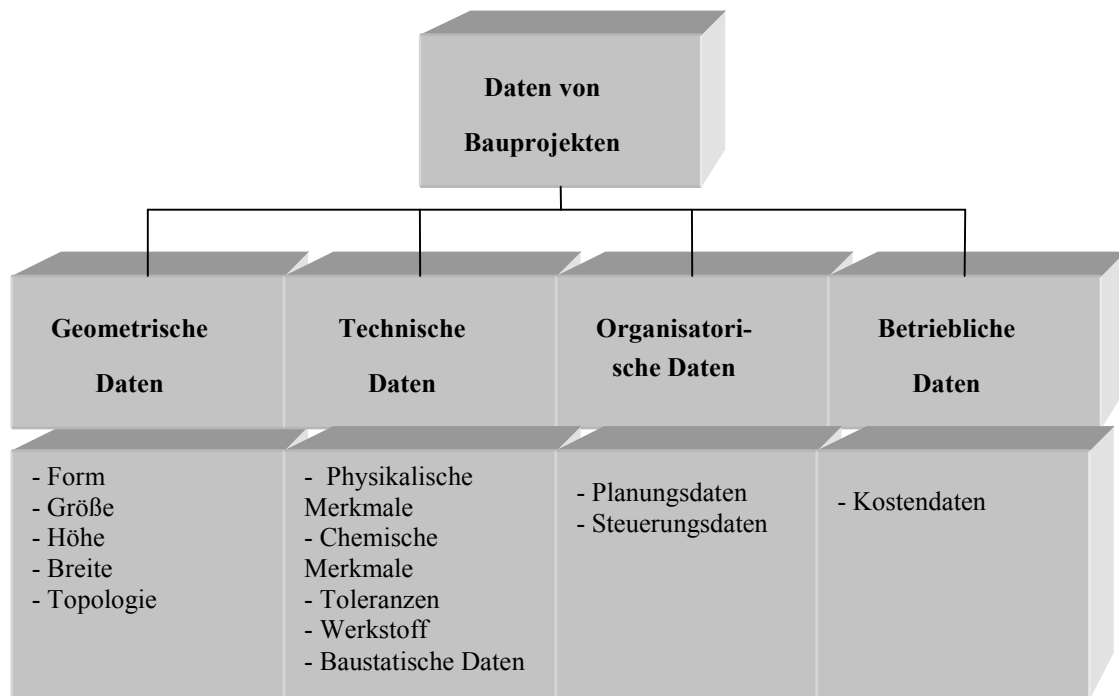


Abbildung 1: Relevante Daten in Bauprojekten¹⁷

Ermittlung der Zeit, Menge, Arbeitsbedingungen und Einflussgrößen versteht man im Bauwesen unter Datenermittlung. Relevante Daten in der Modellierung gliedern sich in geometrische, technische, organisatorische und betriebliche Daten (Abbildung 1).¹⁸

All diese Informationen und Daten, die man benötigt um ein Projekt zu realisieren, besitzen noch eine projektspezifische Eigenschaft, und zwar gliedern sich diese Daten in Projektabhängige sowie Projektunabhängige Daten, wie Tabelle 1 (S.12) zeigt. Dabei müssen projektspezifische Informationen jedes Mal neu formuliert werden, indessen projektunab-

¹⁶ Vgl.: Wiendahl, 2005, S.153

¹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁸ Vgl.: REFA, 1984

hängige Bedingungen in den verschiedensten Projekten wiederverwendet werden können.

Tabelle 1: Projektabhängige und Projektunabhängige Daten¹⁹

Projektabhängige Informationen	Projektunabhängig Informationen
Bauwerksmodell (Geometrie, Ausstattung)	Ressourcen (Geräte, Arbeiter usw.)
Ort (topografische Gegebenheiten, Umgebung)	technische Regeln, Normen
Bauabschnitte	Leistungs- und Aufwandswerte
Termine (Ecktermine, Meilensteine)	Bauverfahren
Bauherr, Projektpartner	Kostenansätze (Kostenkatalog usw.)
Preisspiegel	Wissensdatenbank
Vorgangsmodell	Material- bzw. Artikelkataloge
Mengen	Kalender, Arbeitszeiten
Milieu	Mengenberechnung (Formeln)
	Bauteiltypen (Familien, Objekte)

3.1.3 Form der bezogenen Informationen

Die Form der bezogenen Informationen beruht weitestgehend auf dem klassischen bewährten Medium zur Darstellung von Ingenieurlösungen, den technischen Zeichnungen. Organisationsstrukturen und Arbeitsabläufe sind im Planungsprozess weitestgehend auf technische Zeichnungen eingestellt und zu diesem Zweck stark durch definierte Normen geregelt. Selbstverständlich werden Informationen auch im Sinne von Texten, Tabellen, Formel und Grafiken weitergegeben, jedoch werden technische Zeichnungen nicht umsonst als die „Sprache des Ingenieurs“ bezeichnet. Damit sind auch einige wesentliche Vor- und Nachteile verbunden:

¹⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Hollermann, 2011, S.6

- Spiegeln eine enorm hohe visuelle Aussagefähigkeit wieder, technische Zeichnungen verfügen über eine Fülle von Informationen, die ein geübter Ingenieur relativ schnell erfassen und realisieren kann.
- Eine technische Zeichnung zu lesen, muss jedoch erlernt werden, was in der Ingenieurausbildung zu den Grundlagen gehört und somit eine lang bewährte Tradition ist.
- Sie unterstützen die Forderung nach einer unabhängigen, parallelen und räumlich verteilten Bearbeitung, was jedoch zur Folge hat, dass Änderungen und damit die Übernahme eines überarbeiteten Planungsstandes als neue Revision einer Zeichnung sehr schwierig sind.
- Da einer Zeichnung eine eindeutige Bezeichnung zugeordnet ist, kann diese auch einem eindeutigen Planungsstand zugeordnet werden. Diese Revisionsverwaltung wird über einen Revisionsindex geregelt.
- Die Darstellungen von technischen Zeichnungen reduziert die Veranschaulichung 3D-Informationen auf eine Reihe von 2D-Informationen, dabei wird eine unabhängige Bearbeitung von Teilaspekten eines Gesamtzusammenhanges erreicht, jedoch sind Konstruktionsfehler und Mängel sehr schwierig zu erkennen und zu identifizieren.
- Ein wesentlicher Nachteil technischer Zeichnungen ist, dass sie unweigerlich dazu führen das Informationen vielfach redundant erzeugt und verwaltet werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Form einer Information in Folge einer technischen Zeichnung, durch ihre Flexibilität, welche in Handhabung und Organisation sich vielfach praktisch bewährt hat, unabhängig von der Art der Projekte, auch in absehbarer Zukunft noch nicht verzichtbar sein wird. Gravierende Probleme, wie Informationsredundanz und die Schwierigkeiten bei der kontinuierlichen Fortschreibung, sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden.²⁰

²⁰ Vgl.: Bieber, 2002, S.79 f.

3.2 Wiederverwendbarkeit der Daten in anderen Projekten

Eine Wiederverwendbarkeit der Daten in anderen Projekten ist prinzipiell gegeben. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass es zu einer Einhaltung der Datenstandards kommt. Um Daten wieder zu verwenden muss besonders auf Schnittstellen zwischen den Modellen und unterschiedlichen Softwareanwendungen geachtet werden. Ein weiterer wichtiger Faktor zur Wiederverwendung ist die durchgängige Notation von Daten und Dateiformaten, welche durch Datenbanken (Abschnitt 3.1.1, S.7) und IFC unterstützt werden. Mechanismen zur Prüfung der Daten z.B. auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Redundanz sind an diesen Schnittstellen nicht zu vernachlässigen, um eine optimale Ausnutzung zu erreichen.²¹ Da Bauprozesse immer einen großen Unikatcharakter aufweisen, kommen Simulationen nur beschränkt im Bauwesen vor. Der große Zeitaufwand und die Tatsache, dass sich bei kleineren und mittleren Projekten die Modellierung gegenüber der Simulation als günstiger erweist, sind die Hauptgründe der wenigen Nutzung. Deswegen ist die Wiederverwendbarkeit von Daten in Bauprozessen von großer Bedeutung. Hoher Zeit- und Kostenaufwand kann somit minimiert werden und eine effektive und wirtschaftliche Nutzung der Simulation von Bauprozessen wird dementsprechend immer attraktiver. Um dies erfüllen zu können, ist die Einhaltung von Datenstandards der bedeutungsvollste Faktor, denn dieser sichert die Wiederverwendbarkeit und erleichtert die Weiterverarbeitung.

3.3 Objektorientierte Projektbearbeitung

Um ein Bauprojekt planen, realisieren und betreiben zu können, bedarf es einer Vielzahl verschiedenster Berufsgruppen. Diese benutzen alle verschiedenste Mittel zur Darstellung von Informationen und zur Kommunikation und verwenden jeweils ihre eigenen Terminologien und Technologien. Dies führt jedoch dazu, dass sich der digitale Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Berufsgruppen wegen der unterschiedlichen Strukturierung und Sichtweisen auf die Informationen schwierig gestaltet. Der Informationsaustausch beschränkt sich infolgedessen meist ausschließlich auf geometrische Informationen und es kommt zu einer parallelen Bearbeitung des Projektes. Dadurch entsteht während der Bearbeitung eines Bauprojektes oftmals eine Vielzahl von Partialmodellen, welche häufig redundante oder inkonsistente Informationen enthalten. Da diese meist nur unter Informationsverlust in andere Modelle transformiert werden können, müs-

²¹ Vgl.: Hollermann, 2011, S. 20

sen die Inkonsistenzen nach jedem parallelen Bearbeitungsschritt ausgeräumt werden.²² Das Ziel ist somit, keine redundanten Datengenerierungen und Bearbeitungsschritte mehr zu haben und durch eine modellbasierte Ausrichtung des Ablaufes der Objekte dies zu erreichen. Dies bedeutet wiederum, dass die „Sprache des Ingenieurs“ sprich technische Zeichnungen von 2D-Zeichnungen auf 3D-Modelle umgestellt werden müssen. Auch wenn viele Vorteile, wie Visualisierung, Renderings (2 Begrifflichkeiten, S.5) Clash Detection (2 Begrifflichkeiten, S.5) keine Medienbrüche, zeichnungsorientierte Bauablaufplanung und Ausführung, dafür sprechen ist es in den Unternehmen derzeit meist noch nicht der Anwendungsfall. Die Abläufe der Projektbearbeitung werden an die zur Verfügung stehenden Softwareprodukte und deren dementsprechenden Updates angepasst.²³

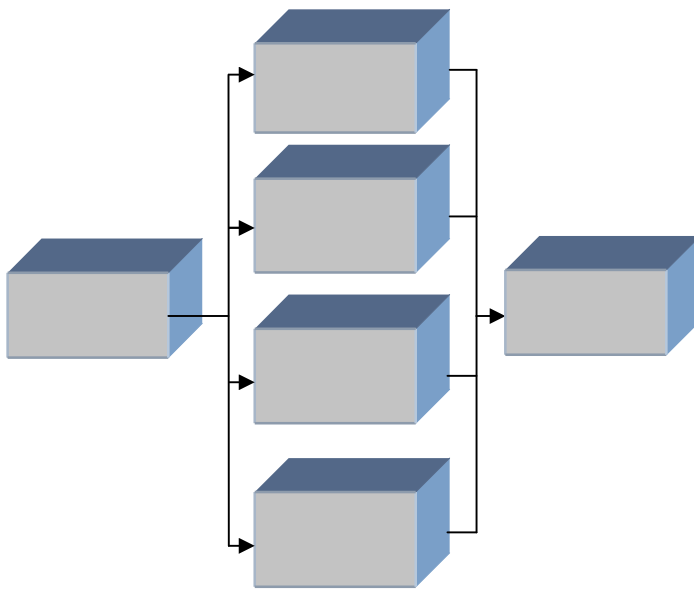


Abbildung 2: Projektbearbeitung mit redundanten Bearbeitungsschritten²⁴

²² Vgl.: Bittrich, 1998, S.3

²³ Vgl.: Hollermann, 2011, S. 5

²⁴ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Hollermann, 2011, S.5

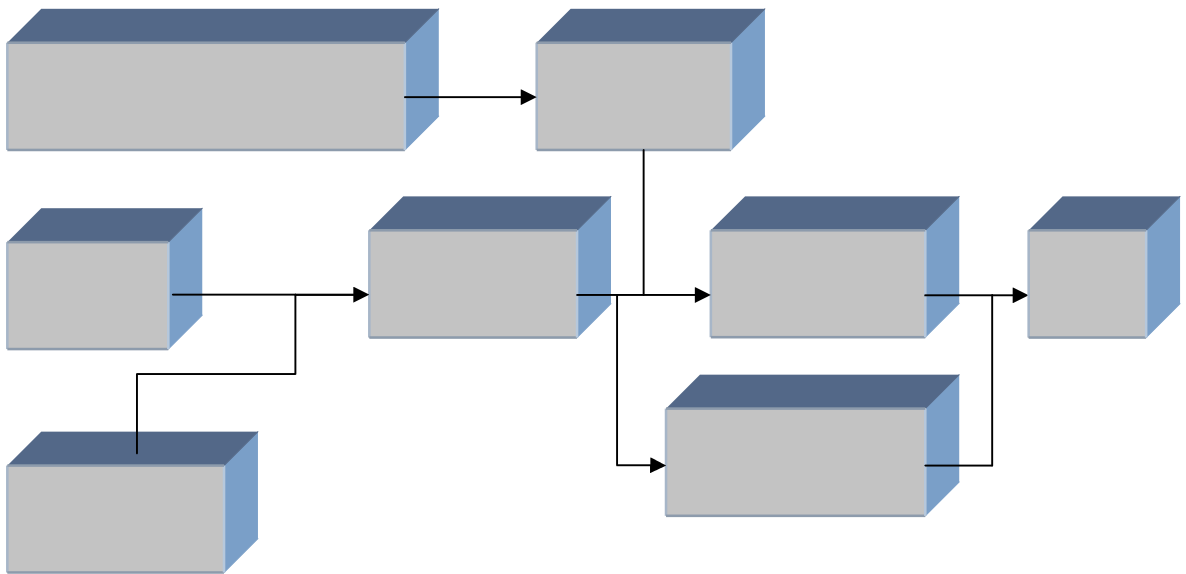


Abbildung 3: Projektbearbeitung ohne redundante Bearbeitungsschritte²⁵

²⁵ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: Hollermann, 2011, S.5

4 ELEMENTE BEZIEHUNGSWEISE KLASSEN DES PRODUKT-MODELLS

4.1 Elemente des Produktmodells einer Brücke

Das Produktmodell Brücke besteht grundsätzlich aus Über- und Unterbau. Widerlager und Pfeiler sind Elemente des Unterbau, während Fahrbahnplatte, die Hauptträger und eventuelle Querträger zum Überbau gerechnet werden. Mithilfe von Streifenfundamente, Platten, Bohr-, Rammpfähle oder Brunnen wird die im Bauwesen „Gründung“ genannte Verankerung der Brückenkonstruktion im Boden bewerkstelligt. Die Übertragung von Bewegungs- und Schubkräften zwischen Über- und Unterbau werden durch Lager, welche aus den unterschiedlichsten Materialien wie Stahl, Elastomeren oder Beton bestehen können, bewältigt. Nicht außer Acht zu lassen sind außerdem Bauteile wie Randbalken, Fahrbahnübergänge, Fahrbahnbelag und dementsprechende Abdichtungen, Entwässerungsanlagen, Leitplanken, Geländer sowie eventuell spezielle Zusatzausrüstung, die alle samt zur Absicherung und Stabilität der Brücke beitragen.²⁶

4.2 Attribute und Eigenschaften der projektrelevanten Elemente

Wie ebenfalls im Gliederungspunkt 1.2 schon erwähnt wird sich die vorliegende Arbeit aus Zeitgründen hauptsächlich mit dem Pfeiler und dem Überbau der bestehenden Eisenbahnbrücke beschäftigten, so werden auch nur Attribute und Eigenschaften zu diesen projektrelevanten Elementen erläutert.

4.2.1 Element Pfeiler

Unterstützungen mehrfeldriger Brückenbauten zwischen den Widerlagern bezeichnet man mit Stützen und Pfeilern, die bei Durchlaufkonstruktionen erforderlich werden. Jedoch wird nochmals zwischen Stützen und Pfeilern unterschieden. „Es ist jeder Pfeiler eine Stütze,

²⁶ Vgl.: Mehlhorn, 2010

aber nicht jede Stütze ein Pfeiler.²⁷ Wesentliche Unterschiede liegen in den Höhen- und Querschnittsverhältnissen dieser beiden Produkte. So spricht man nach HOLST immer dann von Pfeilern, wenn folgende Abmessungen erreicht und überschritten werden:

- Rechteck- und Ellipsenquerschnitt → 1,20 m auf 1,60 m
- Kreisquerschnitt → 1,40 m
- Wandartige Ausbildungen → 0,90 m auf 3,00 m²⁸

Nach MEHLHORN hingegen werden die Grenzen zwischen Pfeilern und Stützen eher fließend definiert. „Unter Pfeilern werden wandartige Bauteile, die über die Breite der Hauptträger des Überbaus, reichen verstanden, wohingegen die Abmessungen in Richtung der Auflagerlinie von Stützen unter der Überbaubreite liegen oder aus mehreren Elementen bestehen.“²⁹ Da nach beiden Definitionen und Beschreibungen im vorliegenden Bauwerk nun definitiv von einem Pfeiler ausgegangen werden kann, werden weitere Erläuterungen jeweils dem des Pfeilers angehören.

Pfeiler erwecken nicht nur den Eindruck hoher Standhaftigkeit, sie haben sie auch. Deshalb ist der Einsatzort von Pfeilern meist im Wasser bei Seen oder Flüssen, so auch im vorliegenden Projekt, aber auch auf dem Festland finden Pfeiler eine Verwendung, so werden sie bei hohen Talbrücken eingesetzt. Die wesentliche Aufgabe und Funktion von Pfeilern liegt in der Abtragung der Lasten und Aufnahme der Verformungen des Überbaus. Pfeiler bestehen aus zwei Grundlegenden Merkmalen: dem Pfeilerkopf, welcher die Auflagerbank darstellt und dem Schaft. Abhängig vom jeweiligen Entwurf können die Verbindungen mit dem Fundament und dem Überbau unterschiedlich ausgeführt werden. So kann die Verbindung Pfeiler-Fundament biegesteif oder gelenkig bewerkstelligt werden, während die Verbindung Pfeiler-Überbau biegesteif, gelenkig-fest oder gelenkig-verschieblich realisiert werden kann. Dies sind prinzipielle Möglichkeiten zur Brückenlängsrichtung. In Querrichtung finden Systeme von der Pendelstütze bis hin zur so genannten Pfeilerscheibe Anwendung. Diese Verbindungen zwischen Pfeiler und Überbau tragen dazu dabei, die Auflagerreaktionen der Überbauten aufzunehmen und über die Gründungen in den Baugrund abzuleiten.

²⁷ Vgl.: Holst, 2004, S.683

²⁸ Vgl.: Holst, 2004, S.683

²⁹ Vgl.: Mehlhorn, 2010, S.507

Stahlbeton ist heute der wesentlichste Baustoff mit dem Pfeiler errichtet werden. Baustoffe wie Natursteinpflaster oder Klinkermauerwerk werden nur noch in Rahmen von Sanierungen verwendet. Da Pfeiler Verwendung als Unterstützung des Überbaus zwischen den Widerlagern finden, begrenzen sie damit ebenfalls sehr häufig Verkehrswege, im Wasser wie auf Festland. Deshalb werden auch in diesem Bereich besondere Vorkehrungen beispielsweise gegen Anprall von Fahrzeugen, Schiffsanprall oder auch der Anprall von Eisschollen, in der Konstruktion und Bemessung berücksichtigt. Die Querschnittsformen sind generell aus dem Rechteck ableitbar, wobei auch immer mehr auf Architektonische Anspruchsvollere Konstruktionen zurück gegriffen wird, so auch im jeweiligen Referenzprojekt wo der Pfeiler aus einer Kegelförmigen Geometrie bestimmt ist (Abbildung 4, Abbildung 5 S.20).

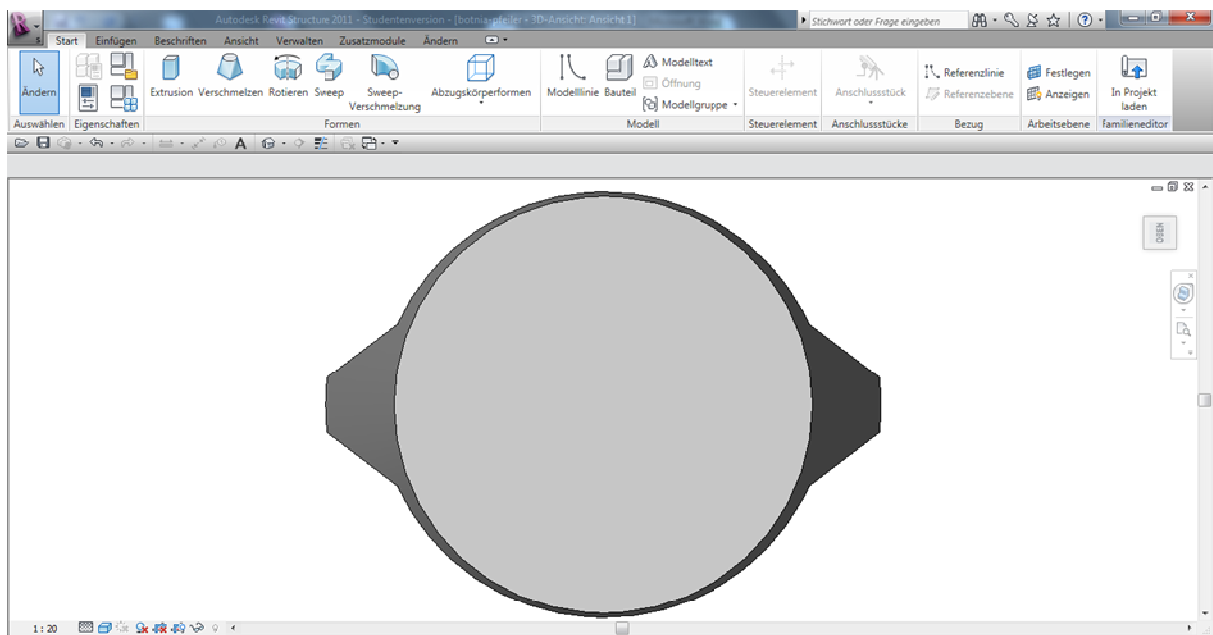


Abbildung 4: Draufsicht Botnia-Pfeiler³⁰

³⁰ Quelle: Eigene Darstellung

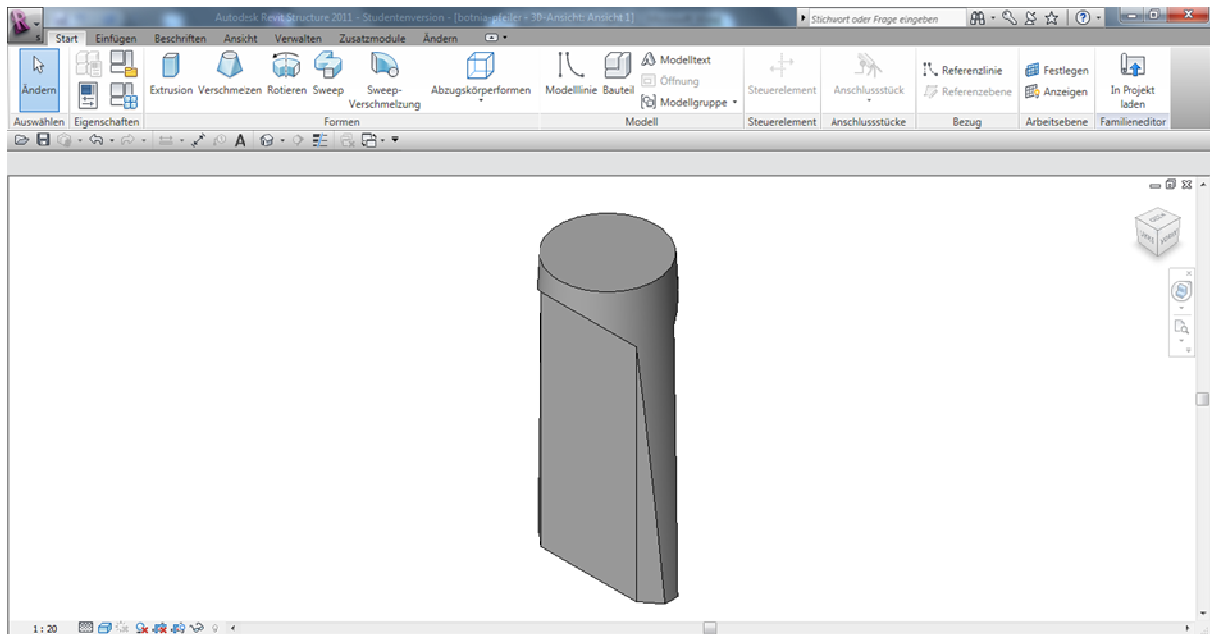


Abbildung 5: Gesamtansicht Botnia- Pfeiler³¹

Entsprechend der hydraulischen Anforderungen werden Pfeiler meist von ihren Grundformen ausgehend gerundet, gebrochen oder jeweils geschnitten, so auch der Abbildung 5 zu entnehmen, da diese aus der Grundform eines Kegelstumpfes stammt. Außerdem wird bei Pfeilern prinzipiell zwischen Voll- und Hohlquerschnitten unterschieden. Dabei haben die Hohlquerschnitte folgende Vorteile:

- Nutzung der Hohlräume für betriebliche Einrichtungen und Arbeitsgänge für die Brückenunterhaltung
- wirtschaftlicherer Materialverbrauch
- Vermeidung ungünstiger Zusatzbeanspruchungen durch das Schwindverhalten zu großer Betonierblöcke³²

Bei der Anwendung in Flüssen bzw. Gewässern dominieren jedoch die Vollquerschnitte. Strompfeiler haben in der Regel eine geringe Höhe und somit unterliegen die Vollquerschnitte nur einer geringen Beanspruchung von Lastabtragung des Überbaus in jeweilige Quer- und Längsrichtungen.

Die Form des Pfeilerkopfes wird von der Art der Verbindung mit dem Überbau geprägt. Oft reicht die Aufnahme von Lager und Presspunktansatz, bei angeordneten Lagern bei mäßig hohen Pfeilern, nicht aus. Dann wird wie im Beispielprojekt der Pfeilerkopf ausgebildet

³¹ Quelle: Eigene Darstellung

³² Vgl.: Holst, 2004, S.684

(Abbildung 6, Abbildung 24, Anhang B: S.XV). Dies setzt jedoch breite Hauptträger voraus, da Überstände des Pfeilerkopfes den Gesamteindruck negativ beeinflussen würden.

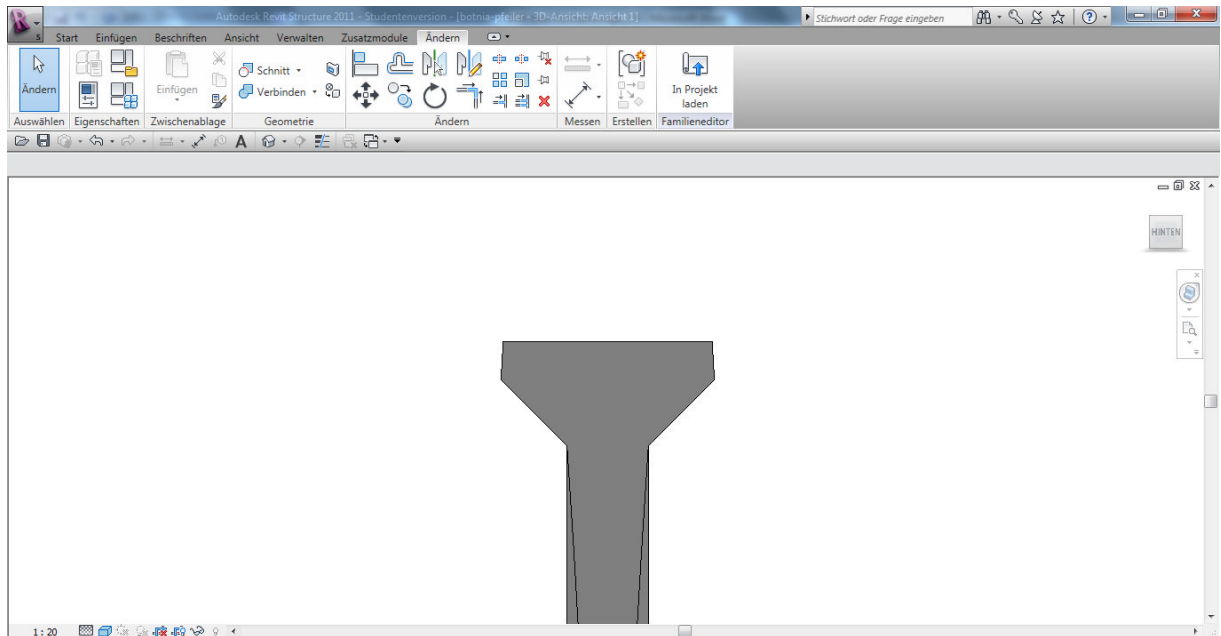


Abbildung 6: Vorderansicht Botnia-Pfeilerkopf³³

„Die Anordnung der Pfeiler im System bestimmt den Gesamteindruck der Brücke. Regelmäßigkeit und Symmetrie erzeugen einen harmonischen Gesamteindruck. Gleiches gilt auch für das Verhältnis Überbauhöhe zu Pfeilerdicke. Ausgewogene Proportionen vermitteln Sicherheit und Vertrauen der Brückenkonstruktion. Zunehmend führen die Berücksichtigung von Natur und Umweltfragen zu Brückenentwürfen und zu Festlegungen von Pfeilerstellungen.“³⁴

4.2.2 Element Überbau

Die wohl größte Bedeutung beim Entwurf einer Brückenkonstruktion trägt wohl die Querschnittsgestaltung. Durch diese werden wesentliche konstruktive Daten festgelegt, sie ist entscheidend für die Art der Unterstützung und sie bestimmt sowohl den Charakter der Brücke. Losgelöst vom jeweiligen Baustoff lassen sich allgemein drei unterschiedliche Typen von Querschnitten aufführen:

³³ Quelle: Eigene Darstellung

³⁴ Vgl.: Mehlhorn, 2010, S.509

- die Platte



Abbildung 7: Brücke mit Plattenquerschnitt³⁵

- der Plattenbalken



Abbildung 8: Brücke mit Plattenbalkenquerschnitt³⁶

³⁵ Vgl.: <http://www.huettner-bau.de/images/projekte/bruecke.fischweg/1.jpg>

³⁶ Vgl.: http://www.baustellen-doku.info/grossprojekte/ausbau-bundesautobahn-4/bw-135_sprottetalbruecke/20090727/baustellen-bild-1.html

- der Hohlkasten



Abbildung 9: Bewehrter Trog eines Hohlkastenquerschnittes³⁷

Der Querschnitt eines Brückenüberbaus wird gewissermaßen als das Herzstück einer Brücke bezeichnet, wenn man baugrundbedingte Einflüsse einmal außen vor lässt, so entscheidet seine Wirtschaftlichkeit über die des gesamten Bauwerkes. Querschnitte moderner Brücken erfüllen heute in der Regel mehrere Aufgaben: Sie enthalten die eigentliche Verkehrsfläche, die durch eine Platte von konstanter oder veränderlicher Dicke gebildet wird, und sind gleichzeitig Bestandteil der Haupttragkonstruktion oder entsprechen dieser selbst. „Im Rahmen der Projektierung ist aus der Bandbreite grundsätzlich in Frage kommender Querschnitte jener auszuwählen, der die Randbedingungen (hinsichtlich Gestaltung, Kosten, Tragwirkung, Dauerhaftigkeit, eventuell Flexibilität) objektiv und subjektiv insgesamt am besten erfüllt.“³⁸

Da im Beispiel der vorliegenden Eisenbahnbrücke anhand der Bauzeichnungen der Querschnitt eindeutig als Hohlkastenquerschnitt identifiziert werden kann, werden weitere Erläuterungen jeweils dem Hohlkastenquerschnitt zugewandt sein. „Der Hohlkastenquer-

³⁷ Vgl.: http://www.baustellen-doku.info/grossprojekte/ice-neubaustrecke_erfurt-leipzig-halle/unstruttalbruecke/20101124/baustellen-bild-13.html

³⁸ Vgl.: Mehlhorn, 2010, S.242

schnitt hat sich ursprünglich aus dem Plattenbalkenquerschnitt entwickelt.“³⁹ Der Querschnitt ist geeignet für mittlere bis große Stützweiten, welche einem Maß von ca. 40m bis ca. 80m entsprechen, wie sie bei Rahmenbrücken und Balkenbrücken vorkommen können. Ebenso erhalten diese Querschnitte größere Druck- und Biegedruckglieder, wie z.B. hohe Pfeiler, Stiele und Tragwerke von Rahmenbrücken sowie Bogen und eventuell auch Fahrbahntragwerke von Bogenbrücken. Die aufwendige Fertigung von Schalungs- und Bewehrungsarbeiten solcher Kastenprofile, steht wiederum der guten Materialausnutzung entgegen. Ferner müssen ebenso wichtige konstruktive Vorgaben eingehalten werden, so z.B. die Einhaltung einer lichten Mindesthöhe, die in der Regel ≥ 80 cm beträgt, um eine Begehbarkeit für weiter ausführende Arbeiten und Wartungsarbeiten zu gewährleisten.

Die folgende Tabelle(S.25) zeigt nun einige Vor- und Nachteile zu Hohlkastenquerschnitten.

³⁹ Vgl.: Holst, 2004, S.128

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Kastenquerschnitten⁴⁰

Günstige Eigenschaften von Hohlkastenquerschnitten	Ungünstige Eigenschaften von Hohlkastenquerschnitten
Gewichtersparnis gegenüber Tragwerken mit Vollquerschnitt	es liegt keine volle Mitwirkung der Platte bei Querkraftbiegung (mitwirkende Breite) vor
große St. Venant'sche Torsionsteifigkeit ermöglicht die Aufnahme großer (Last-) Torsionsmomente, dadurch sind auch stärker gekrümmte oder schief winklig gelagerte Tragwerke möglich	große Torsionsteifigkeit: es können große Torsionsmomente aufgebaut werden (Lagerkörper)
ist ebenfalls für die Aufnahme positiver und negativer Momente gleichermaßen geeignet	
vergleichsweise geringe Biegespannungen aufgrund großer Kernweiten	
Einbauten im Kasteninneren sind möglich und liegen somit geschützt, Gasleitungen dürfen wegen Explosionsgefahr nicht im Kasteninneren verlegt werden	
in Ausnahmefällen auch für sehr große Spannweiten geeignet	

Der Hohlkastenquerschnitt hat sich in seiner weiteren Entwicklung von seinen ursprünglichen Zwängen befreit und verselbstständigt, somit entwickelte er sich zum bevorzugten Querschnitt für Spannbetonbrücken, insbesondere im Großbrückenbau. Dies hat er modernsten Herstellungs- und Bauverfahren, in Form beweglicher Rüstung zu verdanken. Durch die günstigen statischen Eigenschaften des Hohlkastenquerschnitts stellen sie ihn somit in den Mittelpunkt aller Brückenüberbauten.

⁴⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Mehlhorn, 2010, S.246

4.3 Abhängigkeit der Elemente zueinander

Wie in jedem Bauprojekt bestehen gewisse Abhängigkeiten der Bauteile bzw. Elemente zueinander. So auch in einem Brückenbauwerk. Denn wie üblich sollte man bei dem Bau zuerst die Gründungen und Fundamente herstellen, bevor man weitere Bautechnische Maßnahmen ergreift. Danach lässt sich dann der Pfeiler auf dem jeweiligen Fundament und darauf dann wiederum der Überbau errichten.

Im wirklichen Baugeschehen sind die Abhängigkeiten jedoch noch genauer und detaillierter, so auch im Beispiel der Eisenbahnbrücke. Betrachtet man den Pfeiler etwas genauer, so ist festzustellen, dass der Pfeilerkopf im Gegensatz zum Pfeilerschaft ausgeweitet ist (Abbildung 5, S.20). Wie schon im Punkt 4.2.1 erläutert hat dies nicht nur einen architektonischen Hintergrund, sondern auch einen konstruktiven, denn auf dem Pfeilerkopf werden die Brückenlager (2 Begrifflichkeiten, S.5) angeordnet. Somit bestimmen diese sehr oft das endgültige Aussehen eines Pfeilerkopfes. Nicht nur der Pfeilerkopf ist durch konstruktive Merkmale in seiner Gestaltung beeinflusst, sondern auch der Pfeilerschaft, denn über diesen müssen alle Kräfte, welche vom Überbau in die Lager, von den Lagern in den Pfeilerkopf und schließlich in den Pfeilerschaft geleitet werden, auch dementsprechend aufgenommen und zu Gründungen und Fundamenten weitergeleitet werden. Der Brückenüberbau ist indessen nicht so sehr von anderen Bauteilen einer Brücke geprägt. Selbstverständlich müssen die Punkte, wo der Überbau auf den Lagern aufliegt, dementsprechend ausgebildet werden, und auch die gesamte Brückenkonstruktion sollte konstruktiv und architektonisch stimmig sein. Ansonsten wird die Form des Überbaus durch andere Bauteilunabhängige Aspekte gewählt, welche z.B. wären:

- Spannweite
- Einwirkende Lasten
- Einpassung in die umgebende Natur
- Baustoffe (Mauerwerk und Holz bedingen andere Brückenformen als Beton und Stahl).

4.4 Modell in SysML

4.4.1 SysML

„Die UML ist schon in vielen Systems-Engineering-Projekten eingesetzt worden, aber es fehlte bisher eine standardisierte Erweiterung, die notwendig ist, um spezielle Bedürfnisse zu befriedigen.“⁴¹ Um fehlende Bedürfnisse, wie verschiedenste Formen von Anforderungen zu modellieren dazu die Unterstützung kontinuierlicher Funktionen und Dekompositionsstrukturen auszugleichen, wendete man sich der Notation in SysML zu.

SysML ist eine Notation, also eine allgemeine Modellierungssprache. Diese Modellierungssprache stellt verschiedene Diagramme zur Verfügung, wodurch SysML nicht fachspezifisch ist und somit für vielseitige Visualisierungen genutzt werden kann. Die SysML bietet Vorteile, wie Eindeutigkeit, Verständlichkeit, Ausdrucksstärke, Standardisierung und Akzeptanz, Plattform- und Sprachunabhängigkeit und die Unabhängigkeit von Vorgehensmodellen.

In der vorliegenden Arbeit wird der Aufbau der notwendigen Parameter zur Erstellung des Brückenüberbaus und des Pfeilers anhand einer Struktur in SysML dargestellt. Das Blockdefinitionsdiagramm (bdd) bildet die oberste Hierarchiestufe des Modells ab und veranschaulicht die Interaktion und Kommunikation der Elemente im Systemkontext. Um weitere Subsysteme erstellen zu können und somit einen gewissen Detaillierungsgrad zu ermöglichen, bedarf es dem internen Blockdiagramm (ibd). In der untersten Hierarchieebene werden die Elemente als eigenständige Blocks (*encapsulated*) dargestellt. Der Aufbau dieser Blocks kann sich im Gesamtsystem wie folgt darstellen (Abbildung 10, S.28).

⁴¹ Vgl.: Weilkins, 2006, S. 161

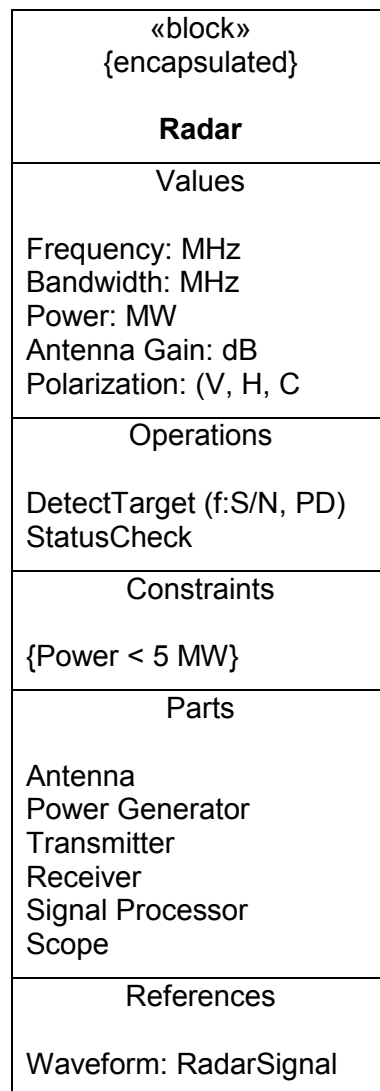


Abbildung 10: SysML Aufbau Blockdiagramm⁴²

Weitere Diagrammtypen sind das Parametric Diagram und das Package Diagram, dabei ermöglicht das Package Diagram die Einbindung von Stereotypen über eine Bibliothek in das Modell. Berechnungen und Vorgaben von Elementen unterschiedlicher Ebene können über das Parametric Diagram realisiert werden, dadurch entfallen wiederkehrende Definitionen von mehrfach genutzten Parametern⁴³.

Da das erstellte Modell keine tiefere Hierarchieebene aufweist, wird zur formalen Beschreibung des betrachteten Systems lediglich das Blockdefinitionsdiagramm verwendet.

⁴² Vgl.: Kossiakoff, 2011, S. 240

⁴³ Vgl.: Weilkins, 2006, S. 183 ff.

4.4.2 SysML - Modell Pfeiler

In der nachfolgenden Darstellung (Abbildung 11) wird repräsentativ ein vereinfachtes Diagramm dargestellt, das die Struktur der Bauteilklassen des Pfeilers wiedergibt. Daraus ist zu erkennen, dass es elf verschiedene Blockdiagramme gibt, um den Pfeiler mit all seinen Parametern und Eigenschaften zu beschreiben und folgend generieren zu können. Die ausführlich formale Beschreibung des Modells, durch das erarbeitete bdd-Diagramm ist im Anhang B (Abbildung 26, S.XVI) zu finden.

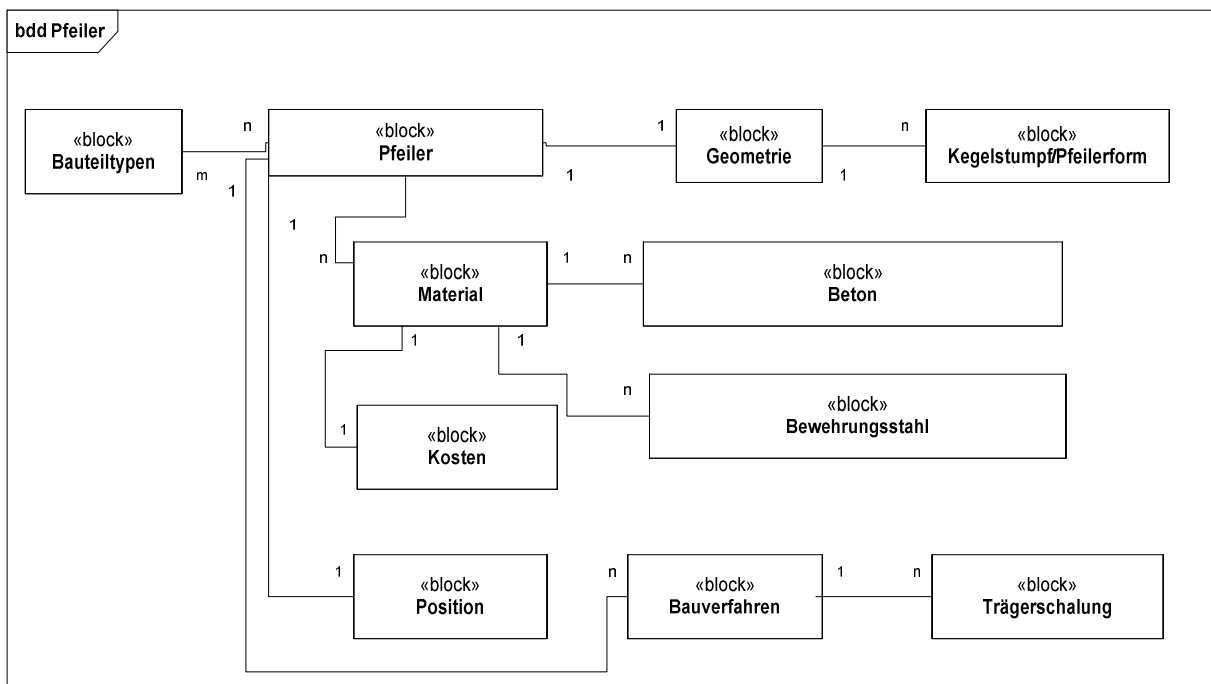


Abbildung 11: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Pfeiler⁴⁴

Die Konstruktion des Brückenpfeilers wird währenddessen über zwei Blocks erläutert. Zum einen wäre das der Block „Geometrie“ und „Kegelstumpf/Pfeilerform“. Die grundlegende Geometrie eines Pfeilers ist meist durch bekannte Formen beschrieben. In dem vorliegenden Objekt ist diese Form über einen Kegel definiert und führt mit anderen Optionen wie Sweep (2 Begrifflichkeiten, S.5) und Extrusion (2 Begrifflichkeiten, S.5) zur fertigen konstruktiven Gestaltung des Bauteils. Der Block „Kegelstumpf/Pfeilerform“ beinhaltet indessen spezifische Merkmale zu der ausgewählten Grundform wie Höhe und Breite der Form und auch verschiedene Operationen, die dazu beitragen, bei bestimmten Änderungen die konstruierte Form beizubehalten. Nicht nur theoretische konstruktive Merkmale

⁴⁴ Quelle: Eigene Darstellung

sind wichtig, um einen Pfeiler errichten zu können, sondern auch dazugehörige Materialien und Bauverfahren, welche die nächsten Blockdiagramme widerspiegeln. So gehören zu den Hauptverwendungsmaterialien im Pfeilerbau, Beton und Bewehrungsstahl, welche in ihren verschiedenen Arten aufgeführt sind. Ein bedeutender Punkt, der dem Material ebenfalls zugeordnet ist, sind die anfallenden Kosten in diesem Bereich. Kletterschalung, Gleitschalung und Trägerschalung zählen zu den gebräuchlichsten Bauverfahren im Pfeilerbau und werden wiederum durch Teilvorgänge, Ressourcen, Dauer und Start bestimmt. Im vorliegenden Objekt wurde zur Herstellung des Pfeilers Trägerschalung angewandt. Um letztendlich den Pfeiler an der richtigen Stelle zu erbauen, ist dieser ebenfalls abhängig von der Position, welche sich über den Bezugspunkt, der Ausrichtung und den jeweiligen Ebenen beschreibt. All diese Parameter, welche in Blockdiagrammen zusammengefasst sind, beschreiben den endgültigen zu errichtenden Pfeiler mit all seinen Eigenschaften und Abhängigkeiten. Dabei ist zu beachten dass diese immer in einer bestimmten Zahlenabhängigkeit stehen, so verhalten sich einige Parameter eins zu eins zueinander, aber auch Wiederholungen kommen sehr oft vor. Betrachtet man nun das Blockdiagramm „Pfeiler“ so ist festzustellen, dass dies nur durch ein übergeordneten Block „Bauteiltypen“ abgeleitet wird. „Pfeiler“ enthält alle vorher erläuterten Parameter wodurch sich nun der Pfeiler generieren lässt. Operationen zum berechnen von Bauteilvolumen, Betonvolumen oder der zu gebrauchenden Bewehrung lassen sich mit Hilfe aller festgelegten Klassen und Parameter bestimmen.

4.4.3 SysML - Modell Überbau

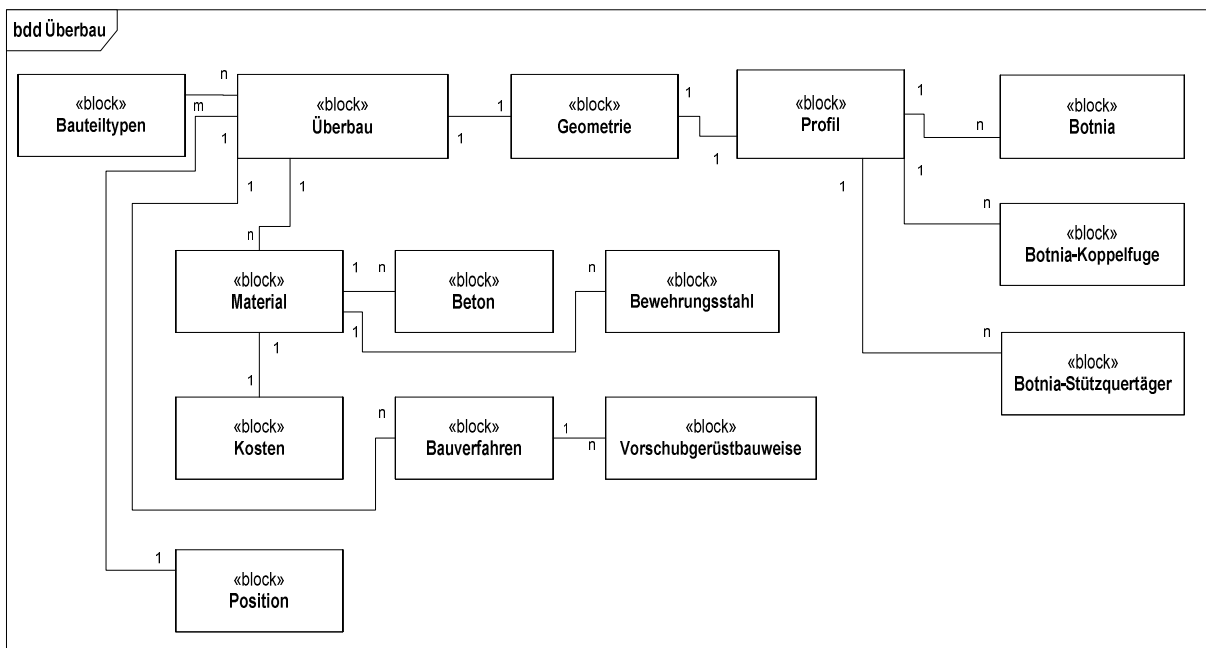


Abbildung 12: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Überbau⁴⁵

Die vorliegende Abbildung (Abbildung 12) zeigt nun eine vereinfachte Darstellung der Bauteilklassen des Brückenüberbaus. Die daraus resultierende ausführlich erstellte Diagrammzeichnung ist im Anhang C (Abbildung 28, S.XVIII) nachzuvollziehen. Aus diesen Diagrammen ist zu erkennen, dass es vierzehn verschiedene Blockdiagramme gibt, um den Überbau mit all seinen Parametern und Eigenschaften zu beschreiben und folgend generieren zu können.

Im Gegensatz zu dem Pfeiler ist die Konstruktion des Überbaus nicht nur von zwei Blöcken abhängig. Auch die Klasse „Geometrie“ ist hier aufzufinden, jedoch wird aus dieser nun noch kein richtiger Körper generiert, sondern erst einmal eines der drei benötigten Profile, welche notwendig sind, um ein Brückenüberbau zu konstruieren. Die Profile „Botnia“, „Botnia-Koppelfuge“, „Botnia-Stützquerträger“ enthalten somit alle Eigenschaften die für die Konstruktion von Bedeutung sind, auch Operationen die z.B. zur Berechnung des Bauteilvolumens führen sind hierbei verankert. Wie auch schon in SysML-Modell des Pfeilers zu sehen war, spielen Parameter, die von Materialien und Bauverfahren bestimmt sind, auch eine wesentliche Rolle. Die Materialien des Überbaus sind über-

⁴⁵ Quelle: Eigene Darstellung

wiegend gleich denen des Pfeilers jedoch werden, um einen Brückenüberbau zu erstellen, andere Bauverfahren, wie

- Traggerüstbauweise
- Segmentbauweise
- Konventionelles Lehrgerüst
- Herstellung von Platten- und Balkenbrücken auf Lehrgerüst
- Herstellung auf stationärem Lehrgerüst
- Abschnittsweise Herstellung auf einem Lehrgerüst
- Taktschiebeverfahren
- Vorschubgerüstbauweise
- Freivorbau⁴⁶,

angewendet. Im vorliegenden Projekt wurde der Überbau mittels Vorschubrüstung absolviert. Dieser Vorgang eines bestimmten Verfahrens ist natürlich wiederum durch verschiedenste Eigenschaften und Abhängigkeiten geprägt. Letztendlich fehlt dem Überbau wie jedem Bauteil in einem Bauprojekt noch die richtige positionelle Zuordnung, was über die Funktionen im Block „Position“ realisiert werden kann. Somit sind dies alle Hauptparameter und Definitionen, die nötig sind, um einen Brückenüberbau mit all seinen konstruktiven Merkmalen in richtiger Lage mit dem entsprechenden Bauverfahren zu erstellen. Da der Überbau aber ebenfalls auch nur ein Bauteil einer gesamten zu erstellenden Brücke ist, ist diesem noch das Blockdiagramm „Bauteiltypen“ zugeordnet, welches alle wichtigen Brückenbauteile beinhaltet um eine Brücke erstellen zu können.

4.4.4 SysML - Modell Brücke

Da ein Brückenbauwerk aus der Zusammensetzung von allen Bauteiltypen und Bauteilklassen besteht, sind die einzelnen Diagramme des Pfeilers und des Überbaus folgend zu einem zusammengefasst, um letztendlich ein Bauwerk darzustellen (Abbildung 13 S.33, Abbildung 40 Anhang D: S.XXV).

⁴⁶ Vgl.: Mehlhorn, 2010

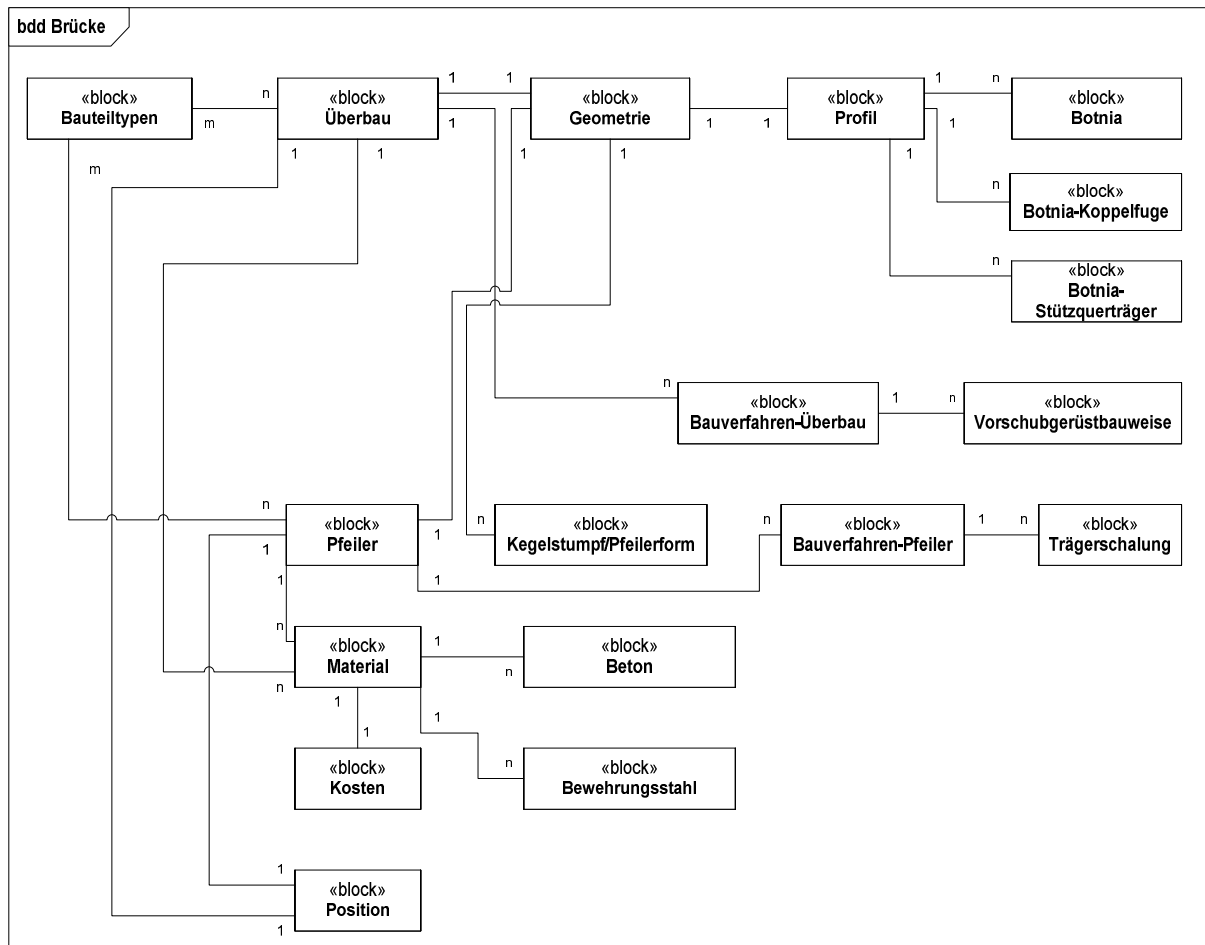


Abbildung 13: vereinfachtes Blockdefinitionsdiagramm Brücke⁴⁷

Wesentlich in diesen Diagramm „Brücke“ ist, dass man einen Überblick darüber gewinnt, welche Bauteilklassen und zugehörige Parameter in einem Projekt nur einmal generiert werden müssen, da diese bei den verschiedenen Bauteiltypen gleich sind. So ist z.B. festzustellen, dass die grundlegende Konstruktion, ob von einem Pfeiler oder einem Überbau, immer von einer bestimmten Geometrie ausgeht und sich danach erst in die einzelnen Bauteilsektionen aufgliedert. Aufgrund immer steigender Forderungen an Wirtschaftlichkeit sind die Blockdiagramme „Material“ und „Kosten“ von großer Bedeutung, da man so schon unter bestimmten Abhängigkeiten z.B. des Bauverfahrens, in der Entwicklungsphase Aussagen treffen kann, wie viel Material benötigt wird und welche Kosten einen wohl erwarten werden. So ist dies ebenfalls auch noch bei mehreren Blocks festzustellen.

Dieses zusammengefasste Diagramm birgt die Gefahr der Unübersichtlichkeit, jedoch bringt es einen sehr bedeutungsvollen Aspekt zum Vorschein. Dies ist das Vermeiden von

⁴⁷ Quelle: Eigene Darstellung

Wiederholungen, in dem Sinne, dass ein Prozess, welcher schon einmal existiert, nicht noch einmal komplett neu geplant und konstruiert werden muss, sondern wiederverwendet wird und gegebenenfalls an Abhängigkeiten angepasst oder weiterentwickelt wird. So können verschiedenste Daten, Modelle, Bauabläufe usw. unter einem enormen Ersparnis von Zeit und Kosten generiert werden.

4.5 Erstellen der projektrelevanten Familien im Projektmodell Revit

„Die Revit-Plattform für Building Information Modeling ist ein Planungs- und Dokumentationssystem, das Entwurf, Zeichnungen und Bauteillisten für Bauprojekte unterstützt.

Building Information Modeling (BIM) bietet Informationen zu dem geplanten Projektumfang und zu Zahlenwerten und Phasen, sofern diese benötigt werden.“⁴⁸

4.5.1 Autodesk Revit und die Bedeutung von Klassen/Familien

In dem Programm „Autodesk Revit Structure 2011“ sind die Zeichnungen, 2D- oder 3D, Darstellungen von Informationen aus der ursprünglichen Modelldatenbank. Diese Modelldatenbank kann durch Änderungen oder selbst erstellte Zeichnungen immer aktualisiert werden. Die Informationen werden von Revit zu dem jeweiligen Projekt gesammelt und an allen anderen Darstellungen des Projektes weitergegeben und koordiniert. Vorgenommene Änderungen werden in Revit automatisch von der „parametrischen (2 Begrifflichkeiten, S.6) Änderungs-Engine“ an Zeichnungsplänen, Modellansichten, Bauteillisten usw. weitergegeben.

In Revit werden beim erstellen eines Projektes dem Entwurf bestimmte parametrische Elemente hinzugefügt, welche nach Kategorie, Familie und Typ klassifiziert werden.

⁴⁸ Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0007-Was_ist_7

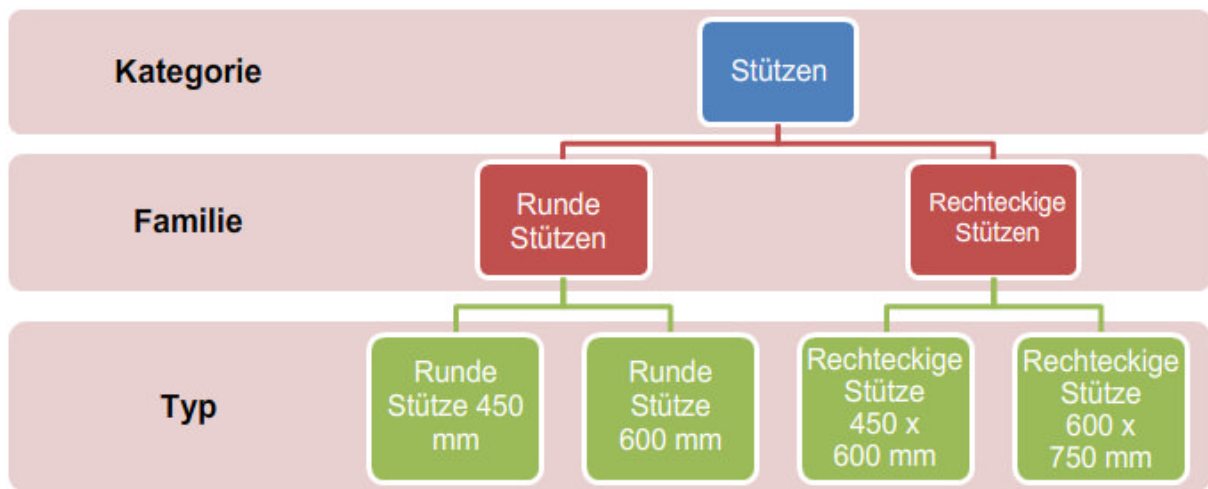


Abbildung 14: Klassifizierung der Elemente⁴⁹

Die Kategorie lässt sich in Revit als eine Gruppe von verschiedensten Elementen beschreiben, die zum Dokumentieren und anfertigen von Modellen verwendet werden. So sind Wände oder Träger zwei typische Beispielskategorien von Modellelementen.⁵⁰ Alle Elemente angefangen von den Tragwerkselementen über Wände und Dächer bis hin zu Türen und Fenstern, aus denen das Modell besteht und die für die Dokumentation benötigten Beschriftungen, Detailausschnitte usw. werden mithilfe von Familien erzeugt. Durch die selbst erstellten oder vordefinierten Familien können standardmäßige als auch benutzerdefinierte Elemente hinzugefügt werden. Um Änderungen am Entwurf zu vereinfachen und somit eine effiziente Projektverwaltung zu realisieren, ermöglichen die Familien die Lenkung von Elementen deren Verwendung und Verhalten einander ähnlich sind. Als Familie wird eine Gruppe von Elementen bezeichnet, welche gemeinsame Parameter (Eigenschaften) und der dazugehörigen Darstellung, besitzen. Familien können ebenfalls durch verschiedenste Variationen innerhalb der Familie gekennzeichnet sein, dies bezeichnet man dann als Familientyp oder Typ. Familientypen sind dadurch gekennzeichnet, dass einzelne Elemente einer Familie unterschiedliche Werte bei allen oder auch nur bei einigen Parametern aufweisen. Name und Bedeutung der Familie bleiben jedoch gleich.⁵¹ Es werden insgesamt drei Arten von Familien unterschieden:

⁴⁹ Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0010-In_Revit10

⁵⁰ Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0010-In_Revit10

⁵¹ Vgl.: Autodesk, 2009, S.3

- Ladbare Familien
- Systemfamilien
- Projektfamilien

Familien, welche in ein Projekt geladen werden können und aus Familienvorlagen erstellt sind bzw. erstellt werden können, bezeichnet man mit Ladbare Familien. Dabei kann die grafische Darstellung und die Eigenschaftengruppe festgelegt werden.

Dies widerspricht jedoch den Systemfamilien, denn in diesen wird die grafische Darstellung und Eigenschaftengruppe von Revit bestimmt und festgelegt. Allerdings kann man mit Hilfe vordefinierter Typen, neue Typen produzieren, die zu dieser Familie innerhalb des Projektes gehören. Eine weitere effiziente Eigenschaft der Systemfamilien ist die Übertragbarkeit zwischen verschiedenen Projekten.

Bei Projektfamilien dagegen können die Familientypen im Gegensatz zu System- und Standardbauteilfamilien nicht dupliziert werden, um weitere Typen erstellen zu können. Es werden benutzerdefinierte Elemente definiert, die im Kontext eines bestimmten Projektes erstellt werden. Diese Elemente bezeichnet man als Projektelemente, die nur für einen bestimmten Kontext eines bestimmten Projektes vorgesehen werden, dementsprechend enthält eine solche Familie nur einen Typ. Es können mehrere Projektfamilien erstellt und Kopien desselben Projektelements in Projekte eingefügt werden. Die eigentlichen Elemente in Revit sind Exemplare (Elementexemplare), welche in Projekte eingefügt werden können und dort eine spezifische Positionen im Modell bzw. auf dem Plan (Beschriftungsexemplar) einnehmen.⁵²

4.5.2 Projektrelevante Familie Pfeiler

Um den Pfeiler für das bestehende Projekt der Eisenbahnbrücke zu konstruieren, wurde die Kategorie „Stütze“ gewählt. Da diese Kategorie schon grundlegende Parameter enthält, die zum erstellen eines Pfeilers von großem Vorteil sind. Um den Pfeiler zu erstellen wurde eine Grundform geschaffen, welche einer Geometrie eines Kegelstumpfes ähnelt, dabei entstanden folgende Familientypen (Abbildung 15, S.37).

⁵² Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChr5/0006-Building6/0010-In_Revit10

ELEMENTE BEZIEHUNGSWEISE KLASSEN DES PRODUKTMODELLS

Parameter	Wert	Formel	Sperren
Text			
Bauverfahren	Trägerschalung	=	
Materialien und Oberflächen			
Material-Stahl	Standard	=	
Material-Beton	Standard	=	
Abmessungen			
Verjüngung des Pfeilers	3.366°	=	☒
R3	1894.1	= R1 + Höhe Pfeiler Kopf * tan(Verjüngung des Pfeilers)	☒
R2	2405.8	= R1 + Höhe Pfeiler * tan(Verjüngung des Pfeilers)	☒
R1	1800.0	=	☒
L	1760.0	= sqrt(R3 ^ 2 - (Breite Pfeilerschaft * 0.5) ^ 2)	☒
Höhe Pfeiler Kopf	1600.0	=	☒
Höhe Pfeiler	10300.0	=	☒
Breite Pfeilerschaft	1400.0	=	☒
Abwinklung	52.500°	=	☒
ID-Daten			

Abbildung 15: Familientypen Botnia-Pfeiler⁵³

Die in Abbildung 15 aufgeführten Familientypen unterscheiden sich nicht nur durch unterschiedliche Bezeichnungen und Zahlenwerte, sondern, wie man ebenfalls erkennen kann, darin bestimmte Typen von anderen abhängig sind. So bestimmt, z.B. R1 (oberer Radius des Kegelstumpfes) im Bezug der Höhe und der Verjüngung des Pfeilers unter einem bestimmten Winkel, R2 (unterer Radius des Kegelstumpfes). Diese Abhängigkeiten der Familientypen untereinander sind wichtige Aspekte beim Konstruieren und müssen dementsprechend festgelegt werden. Diese Beziehungen untereinander dienen vor allem der Beibehaltung der Geometrie bei veränderten Grunddaten. So ist es z.B. bei Pfeilern, durch verschiedenste Geländeprofile und -eigenschaften, sehr selten dass diese dieselbe Höhe haben. Ändert sich nun die Höhe, so bleibt jedoch die grundlegende Geometrie des Pfeilers gleich, und man muss ihn nicht noch einmal konstruieren, sondern man gibt eine andere Höhenangabe im jeweiligen Typ ein. Somit werden alle Typen die abhängig von der Höhe automatisch angepasst. Jedoch werden nicht nur Geometrieabhängige Daten in den Familientypen festgelegt, auch spezifischen Eigenschaften, wie verwendete Baustoffe zur Herstellung des Baukörpers oder die dementsprechenden Bauverfahren, können festgelegt und mit anderen Familientypen verknüpft und somit in Abhängigkeit gebracht werden. Diese Eigenschaft von Revit, der Parametrisierung, ist ein optimierender Prozess wodurch es nur in Ausnahmefällen nötig ist, neue Objekte zu schaffen.

⁵³ Quelle: Eigene Darstellung

4.5.3 Projektrelevante Familie Überbau

Der Überbau stellt sich in seiner Gesamtheit wesentlich komplexer gegenüber dem Pfeiler dar. So wird der Überbau nicht nur durch eine einfache Geometrie bestimmt sondern durch regelrechte Profile, wie es im Brückenbau üblich ist. Der Brückenüberbau des vorliegenden Projektes besteht insgesamt aus drei unterschiedlichen Profilen:

- Profil Botnia (Abbildung 29, Anhang C: S.XIX)
- Profil Botnia-Koppelfuge (Abbildung 30, Anhang C: S.XIX)
- Profil Botnia-Stützquerträger (Abbildung 31, Anhang C: S.XX).

Somit besteht die Hauptfamilie Überbau erst einmal aus mehreren Unterfamilien die wiederum alle eigene Familientypen besitzen (Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34, Anhang C: S.XX f.). Der Überbau besteht insgesamt aus fünf Profilen, zweimal dem Profil Botnia-Koppelfuge jeweils an den Außenseiten, zweimal dem Profil-Botnia welche innenliegend an den Profilen Botnia-Koppelfuge positioniert sind und dem Profil Botnia-Stützquerträger welches das mittlere von den fünf Profilen darstellt (Abbildung 16).

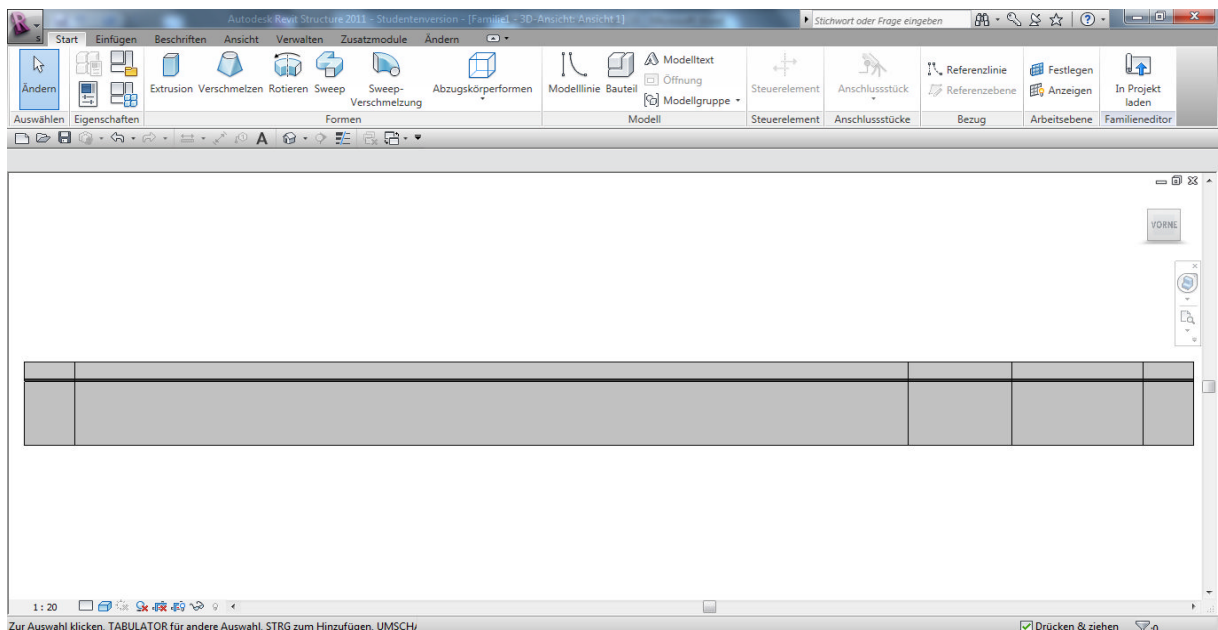


Abbildung 16: Seitenansicht des Überbaus mit zusammengesetzten Profilen⁵⁴

⁵⁴ Quelle: Eigene Darstellung

Um den endgültigen Überbau zu generieren, müssen die jeweilige Profile an der richtige Stelle und mit dementsprechender Länge positioniert werden. Dies lässt sich in Revit, wie schon angedeutet, durch das erstellen einer Hauptfamilie bewältigen. Sobald man eine Familie angelegt hat, können vorher erzeugte Unterfamilien bzw. Unterobjekte (Abbildung 35, Anhang C: S.XXII) in die Familie geladen werden und das Hauptobjekt kann erstellt werden. Damit die Hauptfamilie „Überbau“ wiederum ein stimmiges Konzept ergibt, wird auch in diesem Fall mit verschiedensten Abhängigkeiten gearbeitet. So etwa bei der Gesamtlänge des Überbaus, da diese gelegentlich oder unter Umständen variieren kann, aber die Profile Botnia-Koppelfuge und Botnia-Stützquerträger aus statischen und konstruktiven Gründen gleichbleiben müssen, werden diese im Zusammenhang der Gesamtlänge des Profils in Revit gesperrt, wodurch sich dann die Längen der Profile Botnia ergeben. Dieses sogenannte Sperren wird durch ein geschlossenes Schloss (Abbildung 36, Anhang C: S.XXII) gekennzeichnet. Solche Abhängigkeiten werden je nach Bedarf und Gegebenheiten für die Projekt oder Familien festgelegt.

Die Familientypen der Hauptfamilie bestehen meist aus den Familientypen der Unterfamilien. Diese können bzw. sollten in Familientypen der Hauptfamilie geladen werden, denn somit wird ein bearbeiten und verändern eines Bauteiles wesentlich vereinfacht (Abbildung 37, Anhang C: S.XXIII). Aber nicht nur Geometrieeigenschaften können festgelegt werden, es ist ebenfalls möglich, sich über Querschnittsflächen und Längen unter Anwendung der richtigen Formeln Bauteilvolumen berechnen lassen, womit dann wiederum gleichzeitig die Menge an Bewehrungsstahl oder Betonvolumen bestimmt werden kann. Setzt man dies dann noch in Abhängigkeit zu einem bestimmten Preis, so können selbst die Kosten für das jeweilige Bauobjekt bestimmt werden. So erhält man bei kleinsten Änderungen immer gleich die aktuellsten Daten zu dem Projekt, welche von der Menge der Baustoffe bis hin zu den jeweiligen Kosten reichen. Sind nun alle Parameter, die zur Erfüllung des Projektes bzw. einzelnen Bauteils dienen sollen festgelegt, erhält man eine fertige Konstruktion (Abbildung 17 S.40, Abbildung 38, Anhang C: S.XXIII).

ELEMENTE BEZIEHUNGSWEISE KLASSEN DES PRODUKTMODELLS

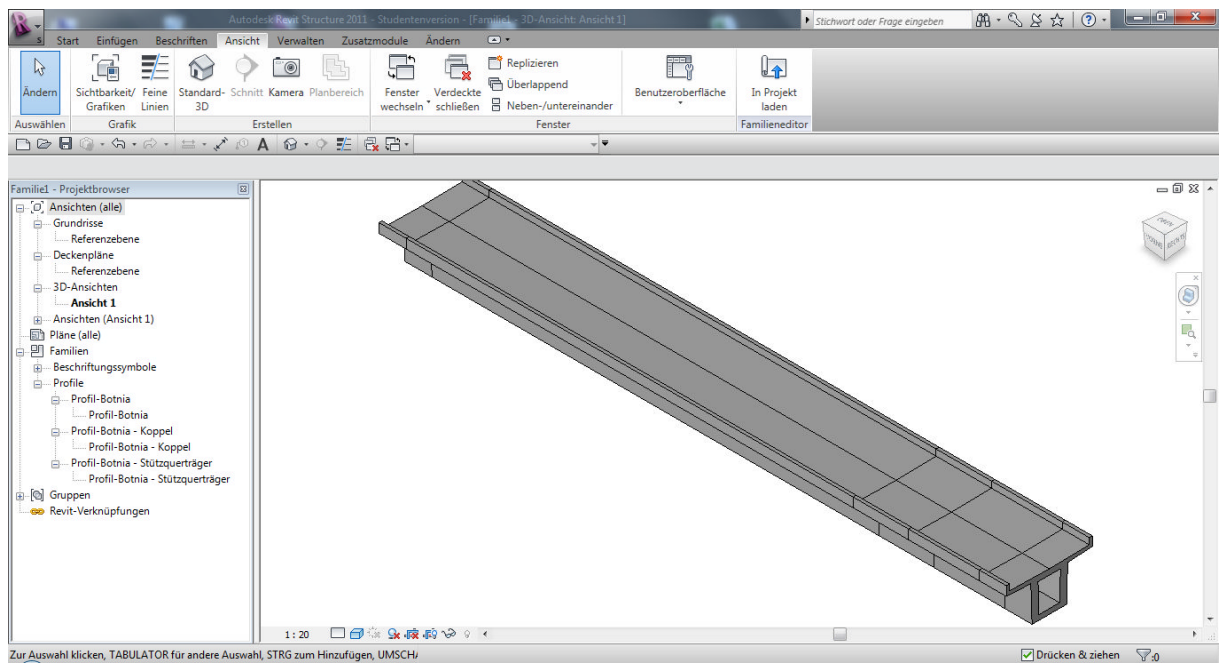


Abbildung 17: Familie Überbau⁵⁵

⁵⁵ Quelle: Eigene Darstellung

5 VERKNÜPFUNG VON BAUVERFAHREN MIT DEN ELEMENTEN DES PRODUKTMODELLS ALS GRUNDLAGE DES ABLAUFMODELLS

Projektabhängige Größen wie z.B., Bauwerksmodell, Ort, Termine usw. (Tabelle 1, S.12), sind notwendig um aus einem integrierten Produktmodell ein Ablaufmodell generieren zu können.

Ressourcen wie, Personal, Gerät, Maschinen, Kosten und ebenfalls zu gebrauchende Materialien sollten mit einem Ablaufmodell gekoppelt sein. Jedoch müssen, um ein Ablaufmodell aus den Objekten des Produktmodells erstellen zu können, noch weitere Attribute ergänzt werden. So sollten etwa Attribute aus den Statischen Berechnungen, wie z.B. Bewehrungsgrad und Betondeckung, ergänzt werden. Aus weiteren Rechnungen wie z.B. dem Bauteilvolumen und dem festgesetzten Bewehrungsgrad, lässt sich das jeweilige Betonvolumen ermitteln. Um endgültig ein Ablaufmodell zu erhalten, fehlt noch das Attribut Bauverfahren, welches allen Objekten hinzugefügt wird.⁵⁶

5.1 Zusammenhänge zwischen Elementen des Produktmodells und der Bauverfahren im Brückenbau

Beim Bau von Brücken sind neben der Lösung der statischen und konstruktiven Probleme insbesondere Kosten und Bautermine zu beachten. Diese sind Abhängig von der Konstruktion der Brücke und des gewählten Bauverfahrens. Man unterscheidet prinzipiell sechs verschiedene Bauverfahren:

- Lehrgerüst
- Vorschubrüstung
- Taktschiebeverfahren
- Freivorbau

⁵⁶ Vgl.: Hollermann, 2011, S.10 ff.

- Fertigteilbauweise
- Stahlverbundbauweise⁵⁷

In dem vorliegenden Projekt wurde der Überbau mittels des Bauverfahren „Vorschubgerüstbauweise“ realisiert. Darunter versteht man ein Traggerüst auf einer meist bodenfreien und somit geländeunabhängigen Konstruktion. Diese Konstruktion ist so aufgebaut, dass es ein ganzes Brückenfeld unterstützungsfrei überspannen kann und so eingerichtet ist, dass es jeweils über geeignete Vorrichtungen feldweise in die entsprechende Arbeitsstellung des nächsten Feldes vorgeschoben werden kann. Dies bringt den Vorteil einer Serienherstellung, die der Fertigteilbauweise mit den größeren Formgebungsmöglichkeiten der Ortbetonbauweise verbindet. Deshalb wird diese Bauweise im weitesten Sinne auch oft mit der Herstellung von Bauteilen in Fabrikationshallen verbunden.

Unterstützungspunkte, wie Lasttürme von der Geländeoberkante oder Aufhängungen an den Pfeilerköpfen und dem Überbau, dienen dazu, die Hauptträger des Gerüsts zu tragen. Durch entsprechende Verschiebe- und Bewegungsmechanik wird an diesen Lagerpunkten die Längsbeweglichkeit der Träger realisiert. Da Brückenquerschnitte sich von Brücke zu Brücke unterscheiden, gibt es dementsprechend auch keine allgemein gültige Form für Vorschubgerüste diese sind immer vom jeweiligem Brückenquerschnitt abhängig. Weniger im Prinzip, mehr im Detail weichen gängige Konstruktionen der Vorschubgerüstbauweise voneinander ab. Die Konstruktionseinheiten hierbei sind folgende:

- Rüst- oder Vollwandträger als eigentliche Rüstkonstruktion
- Stützkonstruktionen in Formen von Rahmenstützen, Konsolen, Querträgern oder Lastturm
- Ablauf- bzw. Vorbauschubel.

Diese Bauweise ist jedoch nicht immer die wirtschaftlichste. Die Wirtschaftlichkeit ist stark abhängig von der Wiederverwendbarkeit des Gerätes, welches erst bei Einsatz ab einer Brückenlänge von mindestens 300 m und einer Feldlänge von ca. 35m bis ca. 50m die Investitionskosten bei erstmaligem Einsatz deckt.⁵⁸

⁵⁷ Vgl.: Mehlhorn, 2010

⁵⁸ Vgl.: Holst, 2004, 278 ff.

Man unterscheidet zwei Verfahren in der Vorschubgerüstbauweise:

- Vorschubrüstung unter dem Überbau, die Schalung ist entsprechend aufgeständert
- Vorschubrüstung über den Überbau, die Schalung ist entsprechend abgehängt

Das Verfahren an sich kann, wie die folgende Abbildung (Abbildung 18) zeigt, in drei Abläufe unterteilt werden.

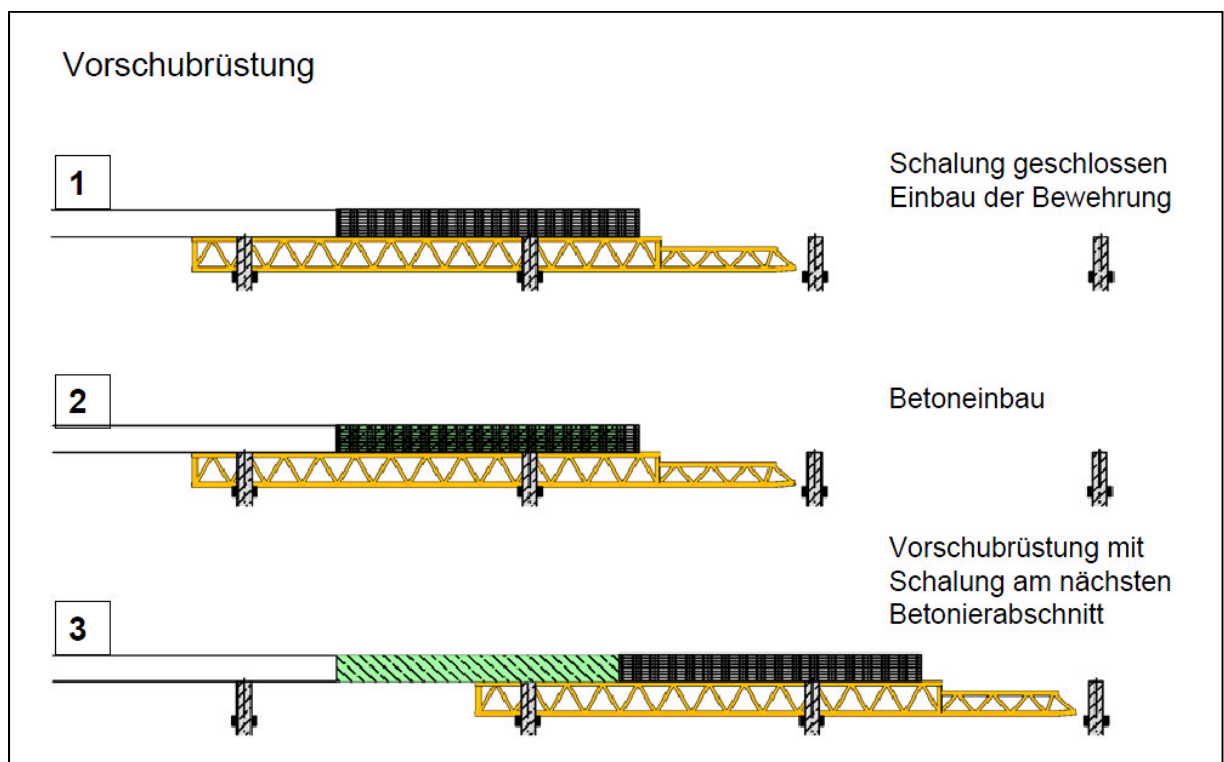


Abbildung 18: Arbeitsablauf Vorschubrüstung⁵⁹

Der Betonierprozess des Überbaus kann außerdem auf zwei verschiedene Wege erfolgen (Abbildung 39, Anhang C: S.XXIV). Dies wäre:

- vorab Boden und Stege des Hohlkastens und anschließend die Fahrbahnplatte mit Auskragungen
- der gesamte Hohlkastenquerschnitt mit einem Guss⁶⁰

⁵⁹ Vgl.: Eber, 2009, S.7

⁶⁰ Vgl.: Eber, 2009, S.7 ff.

Nach nun ausführlicher Erläuterungen der Vorschubgerüstbauweise, lassen sich nun Zusammenhänge und Abhängigkeiten zum vorliegenden Objekt auslegen

Im Ausgangsprojekt beträgt eine Feldlänge des Überbaus beträgt genau 51m und die Brückenlänge an sich ist 1917m. Somit ist eine Wirtschaftlichkeit unter Anwendung der Vorschubgerüstbauweise im vorliegenden Projekt gegeben. Der verwendete Ortbeton wurde durch eine aufgeständerte Schalung in seine richtige Form gebracht, woraus sich das Verfahren einer Vorschubrüstung unter dem Überbau ableiten lässt. Außerdem wurde der Überbau in zwei Betoniergängen realisiert, so wurden als erstes der Boden und die Stege des Hohlkastens betoniert und anschließend die Fahrbahnplatte mit den Auskragungen. Ab Station 113+043,0 verläuft die Gradiente nicht mehr geradeaus, sondern unter einem bestimmten Radius, was ebenfalls durch die Vorschubgerüstbauweise realisiert werden kann.

Dies sind weitestgehend die Hauptkriterien bzw. Zusammenhänge, die sich bei der Entscheidung zum Bauverfahren zur Vorschubrüstung ergeben. Die Wahl des richtigen Bauverfahrens im Brückenbau wird hauptsächlich durch ihre dementsprechende Wirtschaftlichkeit bestimmt. Ist diese dann gegeben, werden Entscheidungen getroffen, welche spezifisch abhängig von dem jeweiligen Bauverfahren sind. Dies sind z.B.:

- welche Schalungsform wird verwendet
- wie viel Betoniergänge sind vorgesehen
- welche zusätzliche besondere Ausrüstung ist nötig usw.

Die Herstellung der Pfeiler wird durch die jeweilige Schalungsart beschrieben. So werden grundsätzlich drei verschiedene, beim herstellen von Pfeilern und Stützen angewandt,

- Gleitschalung
- Kletterschalung
- Trägerschalung.

Im vorliegenden Projekt wurde zur Errichtung der Pfeiler die Trägerschalung angewandt (Abbildung 25, Anhang B: S.XV), diese wird als Wand-, Stützen oder Deckenschalungen bezeichnet, bei denen unter Verwendung von Schalungsträgern aus Holz, Stahl, Aluminium oder Kunststoff in einer Grundmontage, systemartige Elemente zusammengebaut und als entsprechende Schalung verwendet werden. Die Träger bleiben als Einzelteile unverändert und können nach einer Demontage der Elemente wieder in einem anderen Einsatz

verwendet werden. Die Schalung muss so aufgebaut sein dass sie folgende konstruktive Kriterien erfüllt:

- Abtragung aller Lasteinflüsse aus Frischbetoneigengewicht und Betonierersatzlast
- Geringes Durchbiegungsverhalten aller auf Biegung beanspruchten Bauteile
- Systemgerechte Anordnung der Schalungselemente und –träger
- Formgebende Unterstützung für das Schalungsnegativ

Der Zusammenhang, zwischen Schalung und dem Pfeiler ist ein sehr bedeutender, denn so wird die endgültige Form des Pfeilers vom Schalungsnegativ bestimmt. Gerade im vorliegenden Objekt wird dies durch eine architektonisch anspruchsvolle Form nicht leichter (Abbildung 5, S.20).⁶¹

Bauverfahren und Bauprozesse sind ganz allgemein in drei Gruppen gegliedert:

- Manufaktur, manuelle Arbeit (Vor-Ort-Fertigung)
- Maschinenfertigung, Komplementärbauteile
- Montage (vernetzt).

Diese Bauprozesse weisen jeweils gewisse Muster, wie z.B. einen seriellen oder parallelen Ablauf von Prozessen, auf. Abhängigkeiten der Prozesse können in technische, freie und vertragliche Abhängigkeiten unterteilt werden. So sind freie Abhängigkeiten analog zu Tabelle 1 (S.12) als projektunabhängige Informationen bzw. Bedingungen zu sehen und können deshalb mehrfach verwendet werden. Technische Abhängigkeiten sind allgemein durch gewisse Ablauffolgen (z.B. Vorschubrüstung Abbildung 18, S.43), Arbeitsräume oder auch sicherheitstechnische Arbeitsanweisungen beschrieben. Termine, Qualitäten und spezielle Vereinbarungen im jeweiligem Projekt sind vertraglich gebundene Abhängigkeiten und dementsprechend in jedem Projekt neu zu definieren.⁶²

⁶¹ Vgl.: Holst, 2004, S.202 ff.

⁶² Vgl.: Hollermann, 2011, S.24 f.

5.2 Möglichkeiten der Modellierung

Bei der Modellierung von Bauprozessen bzw. Bauverfahren kommt es zur Anwendung von verschiedensten Methoden, welche in den nächsten Unterkapiteln aufgefasst und kurz präsentiert werden um die Abhängigkeiten in der Modellierung zu erfassen.

5.2.1 Petri-Netze

Als erste Modellierungsmethode, von Bauprozessen, wird das Petri-Netz vorgestellt. Um ein Petri-Netz zu erstellen, benötigt man bestimmte Elemente, die nach bestimmten Regeln generiert und geschaltet werden. So eignen sich Transitionen (t) zur Abbildung von Ereignissen oder Aktionen und Stellen (S) können Zustände oder Bedingungen beschreiben (Abbildung 19).⁶³

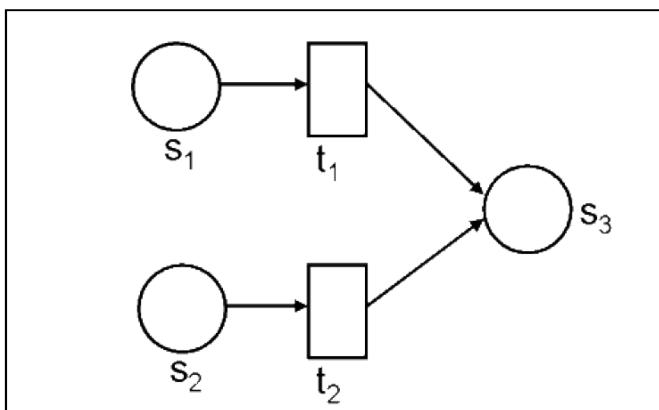


Abbildung 19: Darstellung Petri-Netz⁶⁴

Oft werden auf Baustellen Prozesse parallel ausgeführt, dies kann in einem Petri-Netz mittels Parallelisierung modelliert werden. Um Vorgänge ausführen zu können, bedarf einer Schaltung bzw. Aktivierung der zugehörigen Transitionen. Eine Aktivierung erfolgt in dem die Marke der Eingangsstelle, an die Ausgangsstelle geschickt wird. Eine Durchführung einer Simulation, kann in einzelnen Schritten oder für das gesamte Modell erfolgen. So wird bei einem schrittweisen Simulationsdurchlauf, nach jedem Prozess gestoppt, so dass alle Schritte einzeln aktiviert werden müssen. Beim kompletten Modellablauf wird die

⁶³ Vgl.: Franz, 1998, S.6

⁶⁴ Vgl.: http://www.is.informatik.uni-duisburg.de/courses/mod_ws05/skript/kapitel405.pdf

Simulation manuell gestartet und läuft solange automatisch weiter, bis sie erneut manuell beendet wird.

Nach der prinzipiellen Beschreibung von Petri-Netzen sind einigen Vor- und Nachteile zu erwähnen. Vorteile sind:

- eindeutige Symbolik
- parallele Aktivitäten darstellbar
- Schaltregeln vorhanden
- Eignung zur Modellbildung und Simulation dynamischer Prozesse
- aufgebaut auf formalen mathematischen Regeln

Neben seinen Vorteilen enthält das Petri-Netz auch Nachteile:

- enthält keine vordefinierten Konstrukte
- Ergebnisse nicht auswertbar
- Detaillierungsgrad ist gering
- hoher Aufwand für die Erstellung
- Marken werden zufällig geschaltet⁶⁵

Für die erste Erfassung von Bauprozessen ist das Petri-Netz durch seine eindeutige Symbolik und Übersichtlichkeit zur Darstellung geeignet. Eine Verwendung, zur Modellierung und Simulation von Bauverfahren ist denkbar, jedoch ist der Aufwand zur Erstellung von komplexeren Umfängen sehr groß, da der Detaillierungsgrad sehr gering ist und auch keine vordefinierten Elemente besitzt. Somit ist das Petri-Netz nur im wesentlichen, für eine Untersuchung des Bauablaufes geeignet, da durch fehlende Ausgangsgrößen eine Auswertung schwierig ist.

5.2.2 EPK's

Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK), ist eine weitere Methode die sich zur Darstellung von Bauprozessen eignet. Die Funktionsweise dieser Kette ist die gleiche wie bei einem

⁶⁵ Vgl.: Schnieder, 1992, S.104

Petri-Netz, deshalb ähnelt sich auch die Symbolik. Der Hauptunterschied zu den Petri-Netzen ist, dass EPK semiformal ist, was bedeutet, dass es textliche als auch grafische Elemente enthält.⁶⁶ Funktion (F) und Ereignis (E) sind die Elemente aus dem ein EPK erstellt und durch gerichtete Kanten verbunden wird. Außerdem können durch verschiedenste Operatoren, Vereinigungen und Verzweigungen, innerhalb eines EPK's dargestellt werden. „AND“ beschreibt den Operator der Parallelisierung und „XOR“ definiert eine Entscheidung zwischen mehreren Wegen, dabei kann genau ein Weg bestimmt werden. Im Gegenteil dazu bedeutet „OR“ das mehrere Wege gewählt werden können. Ein Vorgang im Bauverfahren kann durch „Funktion“ dargestellt werden, da es sich hierbei um eine aktive Komponente handelt. Durch die passive Komponente „Ereignis“ wird ein Zustand auf der Baustelle abgebildet. Parallele Prozesse werden dementsprechend mit dem Verknüpfungsoperator „AND“ modelliert. Durch gewisse Erweiterungen, können Funktionen zusätzliche Informationsobjekte zugeordnet werden, wodurch Importe und Exporte von Informationen ermöglicht werden. Diese Erweiterungen können zusätzliche Parameter wie Leistungsobjekte, Datenobjekte und Modellierungselemente sein, wodurch sich ein erweitertes EPK ergibt, was beispielsweise für einen reibungsfreien Bauablauf relevant ist. Ein weiterer Vorteil der EPK ist das alle wichtigen Prozesse zusammenhängend betrachtet werden können, dies beruht auf der grafischen Darstellung. Jedoch ist im Vergleich zum Petri-Netz keine Schaltung eines EPK's möglich, wodurch eine Simulation des Bauablaufes nicht möglich ist.⁶⁷

Der Prozess eines Bauverfahrens bzw. Bauablaufes ist durch die Detailliertheit der EPK gut nachvollziehbar. Prozesse können durch, Entscheidungen über Verknüpfungsoperatoren, relativ praxisnah abgebildet werden. Durch die Einarbeitung zusätzlicher Informationen und der Zuordnung zu Organisationseinheiten, kann das Bauverfahren noch umfassender beschrieben werden. Da das EPK nicht simulationsfähig ist, können keine Auswertungen von Ergebnissen vorgenommen werden.

⁶⁶ Vgl.: Richter-Hagen, 2004, S.84

⁶⁷ Vgl.: Richter-Hagen, 2004, S.84

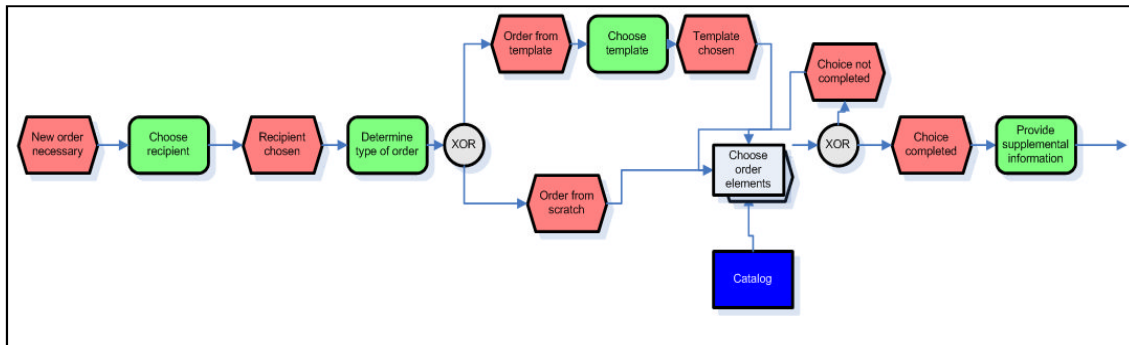


Abbildung 20: Beispiel EPK Abbildung⁶⁸

5.2.3 UML

Die UML ist eine allgemeine Modellierungssprache, welche verschiedenste Diagramme zur Verfügung stellt, wodurch UML nicht fachspezifisch ist, und für vielseitige Visualisierungen genutzt werden kann. Die UML bietet Vorteile, wie Eindeutigkeit, Verständlichkeit, Ausdrucksstärke, Standardisierung und Akzeptanz, Plattform- und Sprachunabhängigkeit und die Unabhängigkeit von Vorgehensmodellen.⁶⁹ Die UML stellt 13 Diagramme zur Verfügung, jedoch ist das Aktivitätsdiagramm am besten dafür geeignet ein Bauverfahren modellhaft darzustellen. Das Aktivitätsdiagramm gehört zu der übergeordneten Gruppe der Verhaltensdiagramme. Die zweite Gruppe, wozu z.B. Klassendiagramme zählen, sind Strukturdiagramme. In dem Aktivitätsdiagramm werden Aktionen bzw. Aktivitäten und deren Vernetzung dargestellt, welche aus Kontroll- und Datenflüssen bestehen und grafisch realisiert werden. Aktivitätsdiagramme bieten sich besonders an für:

- parallel Aktivitäten
- verschachtelte Aktivitäten
- Reihenfolgen von Aktivitäten
- alternative Aktivitäten
- Verantwortungsbereiche oder
- Ausnahmen und deren Behandlung

⁶⁸ Vgl.: <http://www.re-wissen.de/opencms/Wissen/Techniken/EPK-Modellierung.html>

⁶⁹ Vgl.: Kecher, 2007, S.16

Aktivitätsdiagramme werden in verschiedenen Phasen angewendet.⁷⁰ Definition und Analyse gehören zur ersten Phase, in der es hauptsächlich um Geschäftsvorfälle geht, wo sich auch EPK's eignen würden. Für ein Bauverfahren der wesentlich interessantere Anwendungsbereich, liegt in der Phase von Entwurf und Design, denn in dieser Phase kommt die große Vielfalt an Notationselementen, die einem bei Aktivitätsdiagrammen zur Verfügung stehen zur Geltung. Parallel ablaufende Aktivitäten, können ebenfalls genau abgebildet und beschrieben werden. Außerdem, können auch Bedingungen festgelegt werden, die wiederholende Prozesse abbilden, ob der Vorgang ein weiteres Mal wiederholt werden soll, oder ob der nächste Vorgang starten kann. Dies kann auch an mehrere Vorgängerprozesse und Bedingungen geknüpft sein. Aktivitätsdiagramme werden der Verschiedenartigkeit der Ausprägung und Signifikanz von Bauverfahren durchaus gerecht (Abbildung 23, Anhang A: S.XIV).

Grundsätzlich ist die Modellierung von Bauverfahren, ob mit UML, EPK oder Petri-Netzen, abhängig von den Gegebenheiten, des zu modellierenden Verfahrens. Ausschlaggebend sind die Abläufe der Bauverfahren, denn sie können parallel, nacheinander oder als Mischform auftreten. Dabei ist zu beachten, dass es wiederum unterschiedliche Strukturen gibt, den Ablauf darzustellen. Wie schon mehrmals in der vorliegenden Arbeit erwähnt ist es notwendig für ein Bauwerk die Abhängigkeiten zu identifizieren und in den Objekten der Bauverfahren zu hinterlegen. So ist im vorliegenden Projekt z.B. gegeben, dass immer nur ein Überbau nach dem anderen, mittels Vorschubrüstung, errichtet wird. Hätte man wie erstmalig geplant von beiden Seiten begonnen den Überbau zu errichten, so hätte man einen parallelen Bauablauf und keinen seriellen. Die Abhängigkeiten können über gewisse Regeln definiert werden die wiederum festgelegt werden müssen. Beispiele sind:

- Fundamente müssen vor jeweiligen Überbauten errichtet sein (erst wenn darunter befindende Bauteil fertig gestellt ist kann begonnen werden)
- Bauteiltyp x vor dem Bauteiltyp y
- Bauteil x vor dem Bauteil y
- Ebene x vor der Ebene x+1 (y)
- Ereignis x vor Ereignis y

⁷⁰ Vgl.: Kecher, 2007, S.213 f.

- zu gebrauchenden Materialien vorhanden (nötige Ressourcen müssen zur Verfügung stehen bevor begonnen werden kann)

Dies lässt sich ebenfalls wieder mit der Tabelle 1 (S.12) vergleichen in der Projektabhängige Daten und Projektunabhängige Daten beschrieben sind, wobei Projektunabhängige Daten wiederverwendet werden können.⁷¹

Letztendlich ist die Modellhafte Darstellung von Bauverfahren, abhängig von den Gegebenheiten des Bauverfahrens und, welche Abhängigkeiten dieses im Bezug auf das Bauwerk aufweist.

⁷¹ Vgl.: Hollermann, 2011, S.25

6 ERSTELLEN DES PRODUKTMODELLS IN REVIT DURCH INSTANZIIEREN DER KLASSEN (FAMILIEN) ZU EINEM PRODUKTMODELL

Eine Projektdatei enthält in Revit alle Informationen, die für den Entwurf, das jeweilige Modell, in einer zentralen Datenbank gesammelt werden. Sie enthält alle erforderlichen Informationen, von der Geometrie bis hin zu den Konstruktionsdaten, welche für den Modellentwurf von Bedeutung sind. Verwendete Bauteile, Ansichten des Projektes und Zeichnungen des Entwurfs gehören ebenfalls dazu. Es ist mit der Verwendung einer einzigen zentralen Projektdatei leichter, Änderungen an einem Entwurf in allen verknüpften Bereichen, wie

- Draufsichten
- Ansichten
- Schnittansichten
- Bauteillisten usw.,

vor zu nehmen. So ist das Projekt insgesamt leichter zu verwalten, weil man nur über eine Datei den Überblick behalten muss.⁷²

Um ein Produktmodell erstellen zu können, muss zu Beginn einer Modellierung das Anforderungsprofil an das zu entwickelnde Bauprozessmodell analysiert werden. Aus diesen Prozess, welcher in der vorliegenden Arbeit mittels SysMI-Diagrammen realisiert wurde (4.4 Modell in SysML, S.27), ergeben sich die wesentlichsten Attribute in der Modellierung.⁷³ Es ist von großer Bedeutung, im Vorfeld zu überlegen, welche Familien mit den zugehörigen Parametern für das Produktmodell benötigt werden, um diese anschließend optimal nutzen zu können. Wichtig ist ebenfalls die genaue Definition der Parameter und Festlegung des Typs, denn so können im Modell im Nachhinein gewissen Anpassungen und Änderungen vollzogen werden. So lässt sich z.B. die Höhe des Pfeilers im Projekt nur noch ändern, wenn diese in der Familie als Exemplarparameter (Abbildung 27, Anhang B: S.XVII) definiert wurde.

⁷² Vgl.: http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%C3%BChru5/0006-Building6/0010-In_Revit10

⁷³ Vgl.: Hollermann, 2011, S.26

ERSTELLEN DES PRODUKTMODELLS IN REVIT DURCH INSTANZIIEREN DER KLASSEN (FAMILIEN) ZU EINEM PRODUKTMODELL

Das vorliegende Produktmodell wurde aus den beiden Familien „Botnia-Überbau“ und „Botnia-Pfeiler“ generiert (Abbildung 21).

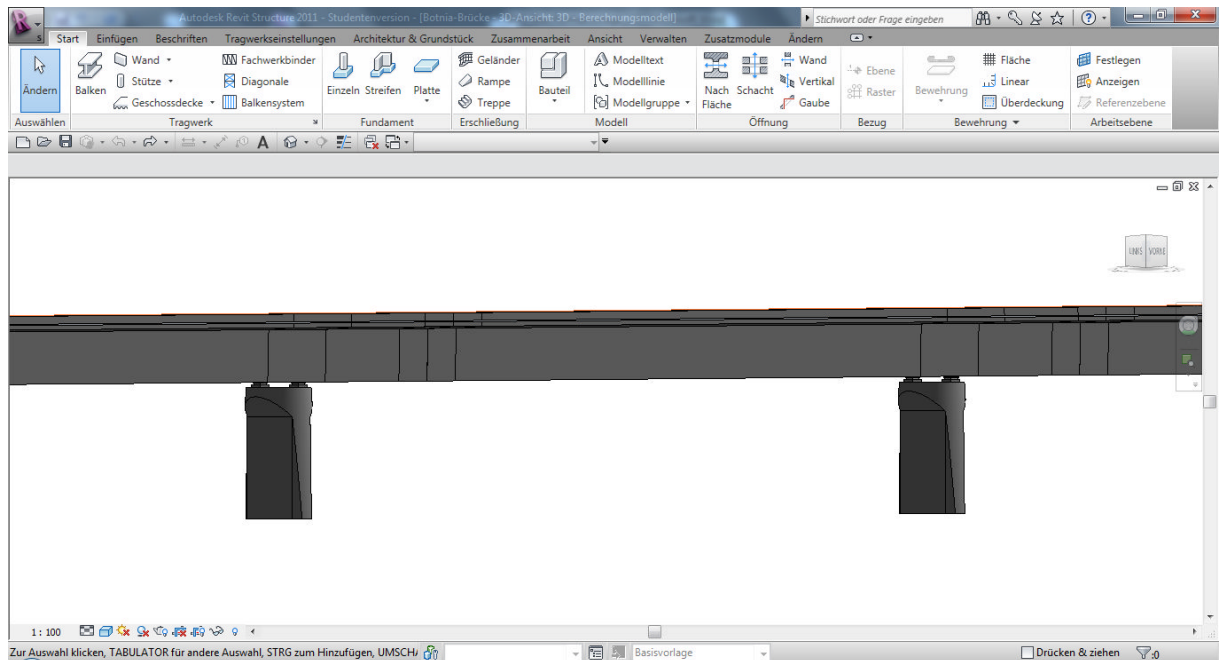


Abbildung 21: Produktmodell Brücke

Um aus den Familien solch ein Produktmodell einer Brücke in Revit zu instanziiieren, müssen noch weitere Eigenschaften der Brücke festgelegt werden. Dies ist z.B. der Verlauf der Brücke, welche im Fachjargon als Gradiente und Trasse bezeichnet wird. Hat man dies in den Anwendungen des Bridge Modeler in Revit unter „Roads and Terrain“ (Abbildung 41, Anhang D: S. XXVI) angelegt, so kann man nun die erstellten Familien in das Projekt laden und an den jeweiligen Stationen positionieren und ausrichten. Ebenso werden über den Bridge Modeler, Brückenlager und Widerlager, sofern dies gewünscht ist, generiert. Ist die Programmierung des Bridge Modeler abgeschlossen wird das komplette Produktmodell, in den richtigen Ebenen und Positionen erstellt (Abbildung 42 bis Abbildung 45, Anhang D: S.XXVI ff.). Da jedoch die Familie Überbau und Pfeiler des vorliegenden Produktmodells nicht als Standards im Bridge Modeler enthalten sind, wurden diese dementsprechend an die richtige Position, über „Familie laden“, eingefügt. Ist das Produktmodell nun fertig als Projekt erstellt, so kann man über Autodesk Revit 2011 sich weitere Daten zu dem Projekt angeben lassen, welche von großem Nutzen sind. Dies reicht von der Aufzählung der Bauteile bis hin zur Berechnung von Volumen. Der Vorteil liegt darin das man diese Bauteillisten (Abbildung 46; Anhang D: S.XXVIII) nicht nur in

ERSTELLEN DES PRODUKTMODELLS IN REVIT DURCH INSTANZIIEREN DER KLASSEN (FAMILIEN) ZU EINEM PRODUKTMODELL

Revit verwenden kann, sondern auch in dem gebräuchlichen Tabellen Programm, Microsoft Excel.

Diese speziellen Funktionen von Autodesk Revit 2011, sorgen dafür das wiederholende Prozesse und Ausführungen, wodurch es oft zu redundanten Datengenerierungen kommt, unter richtiger Ausführung wohl der Vergangenheit angehören.

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

7.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Produktmodell erstellt, dass unter Anwendung des Programmes Autodesk Revit 2011 eine objektorientierte Bearbeitung ermöglichte, um alle im Modell vorhandenen Informationen vielseitig nutzen zu können.

Eine formale Beschreibung der Bauteilklassen, der vorliegenden Eisenbahnbrücke, mit Hilfe der Modellierungssprache SysML, diente als Ausgangsbasis für die Umsetzung der relevanten Familien und deren Parameter zum endgültigen Produktmodell. Außerdem wurde das Attribut „Bauverfahren“ hinzugefügt. Dadurch können jedem Objekt, welches durch das Attribut „Bauverfahren“ ergänzt wurde, weitere Daten entnommen und es kann ebenso vervollständigt werden. Dies sind z.B. Prozessabläufe, Kostenwerte, Zeitaufwandswerte und Ressourcenerfordernisse. Die Notation in SysML der zu gebrauchenden Information und Daten um das Produkt generieren zu können, ist ein wichtiger erleichternder Prozess, der direkt nachvollziehen lässt, in welchem Zusammenhang manche Objekte und Klassen stehen und durch welche Operationen diese gekennzeichnet sind. Außerdem ist somit eine gute Übersicht gegeben welche Parameter einer Familie angehören. Ein wichtiger Faktor, um optimale Ziele im Baugeschehen und der objektorientierten Betrachtung zu erreichen, ist dabei die ständige Aktualisierung und Aufbereitung der Daten, was durch die Nutzung technischer Datenbanken realisiert wird. Dabei sind gerade die projektunabhängigen Informationen sehr wertvoll, da diese immer wieder auf andere Projekte angewandt werden können und somit keine Arbeitswiederholungen erfolgen müssen, wie dies sehr oft der Fall in der Baupraxis ist, da Kalkulationen von Preisen und Terminpläne meist in separaten Planungsprozessen entstehen. Ebenfalls sollten all diese beschreibenden Eigenschaften im konstruierten Produktmodell schon enthalten sein, um daraus ein Ablaufmodell generieren zu können. Das Ziel, keine redundanten Datengenerierungen und Bearbeitungsschritte durch eine modellbasierte Ausrichtung des Ablaufes der Objekte zu haben, ist derzeit meist noch nicht der Anwendungsfall. Daher bedarf einem prinzipiellen Umdenken in der Baubranche, und digitale 3D-Modelle sollten mehr an Bedeutung gewinnen, da Vorteile, wie

- Visualisierung
- Renderings

- Clash Detection
- keine Medienbrüche
- zeichnungsorientierte Bauablaufplanung und Ausführung,

dafür sprechen.

7.2 Ausblick

Objektorientierte Projektbearbeitung bringt bedeutende Vorteile mit sich:

- Visualisierung des Produktmodells und Ablaufes
- Simulationsergebnisse des aktuellen Baufortschrittes
- schnelles erkennen von Störungen
- minimieren von Störungen im Bauablauf
- integrierte Zeit- und Kostenplanung

Jedoch bedeutet es auch für die jetzige Baupraxis eine erhebliche Umstellung von Bearbeitungsabläufen. Jetzige Planungen, Vorschriften und Standards beziehen sich weitestgehend auf die bisher verwendeten Mittel von 2D-Zeichnungen, deshalb wird die Umstellung hin zur objektorientierten Modellierung und Bearbeitung wohl noch einige Zeit in Anspruch nehmen und dementsprechend langsam den Weg ins Baugeschehen finden. Die Revit-Plattform für BIM setzt dabei schon einen gewichtigen Meilenstein in der Planung und Dokumentation von Bauprojekten, da nicht nur konstruktive Merkmale in dem Produktmodell enthalten sind, sondern auch kostenspezifische- und bauverfahrensabhängige Merkmale, sofern diese benötigt werden. Ebenso ist Revit kompatibel mit anderen Programmen wie auch der neuen Software RIB iTWO, wodurch einer modellbasierten Planung und Steuerung im Baubetrieb nicht mehr im Wege steht, was neue Maßstäbe bei der Projektbearbeitung im Bauwesen setzen wird.

Anhang A: Allgemein



Abbildung 22: Beispiele für Brückenlager⁷⁴

⁷⁴ Vgl.: http://www.ag.ch/staffeleggstrasse/shared/bilder/staff_bstfotos05_nr13.jpg
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/76/Lager_01_KMJ.jpg

Tabelle 3: Notwendige Informationen WIENDAHL⁷⁵

Technologische Informationen	Geometrische Informationen	Organisatorische Informationen
Werkstoffbezogen	Darstellung mittels Linien, Bild oder Text	Unterlagenbezogen
Werkstoff		- Dokumentennummer - Erstellungsdaten - Maßstab - Format - Mikroverfilmung
Oberflächenbezogen	Darstellungsangaben	Sach-/Teilbezogen
Oberflächenbeschaffenheit	Schnittbezeichnung	- Positionsnummer - Ident-Nummer - Klassifizierungsnummer - Benennung, Titel
Qualitätsbezogen	Maß- und Wortangaben	
Abnahmebedingung	- Maßlinie - Einheit - Gewicht - Menge	
Mitgeltende Informationen	Toleranzangaben	
- Software - techn. Anweisung	Maßtoleranz	

⁷⁵ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Wiendahl, 2005, S.152

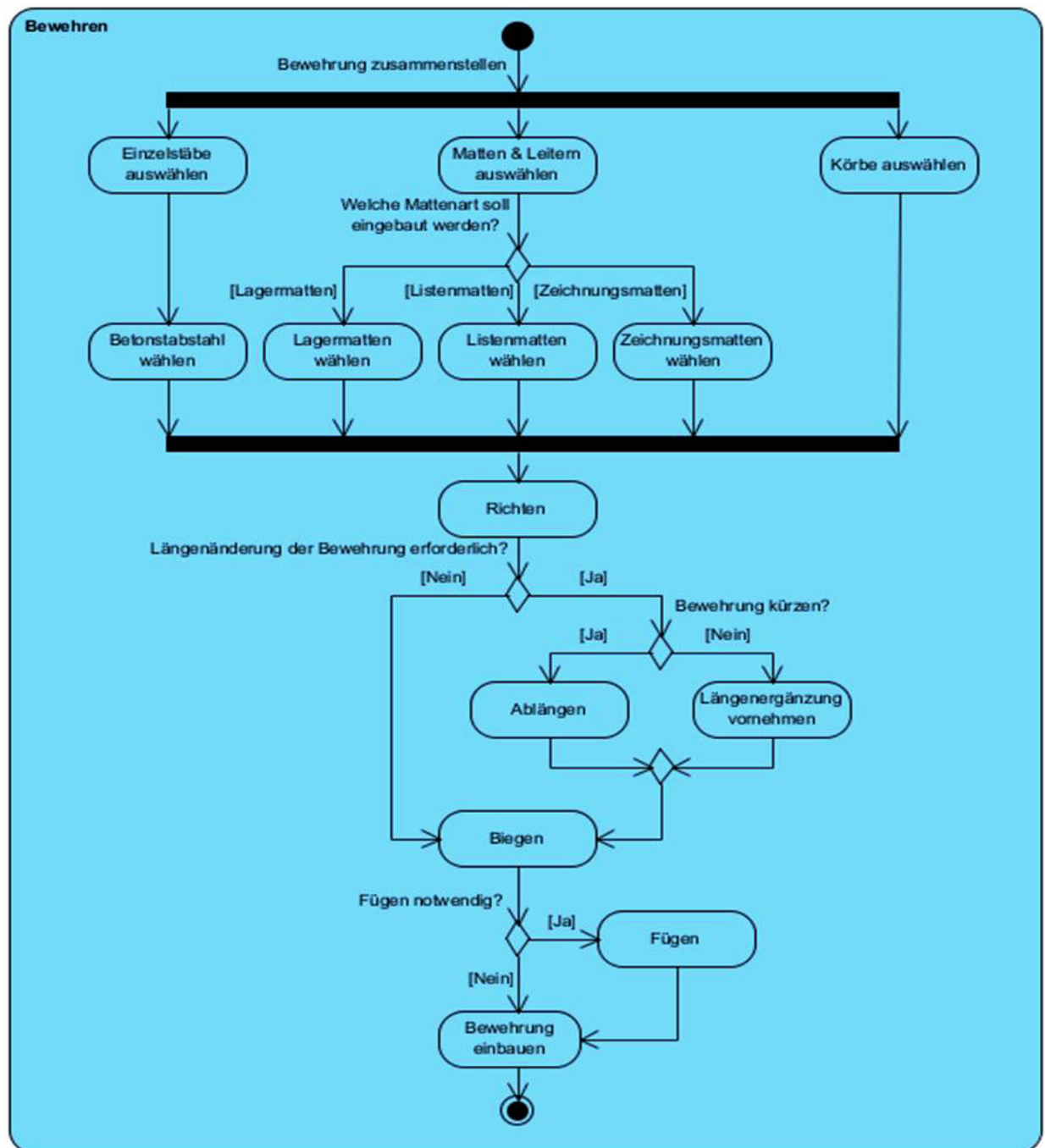


Abbildung 23: Beispiel für ein Aktivitätsdiagramm⁷⁶

⁷⁶ Vgl.: Böwe Seifert Walther, 2011, S.50

Anhang B: Pfeiler

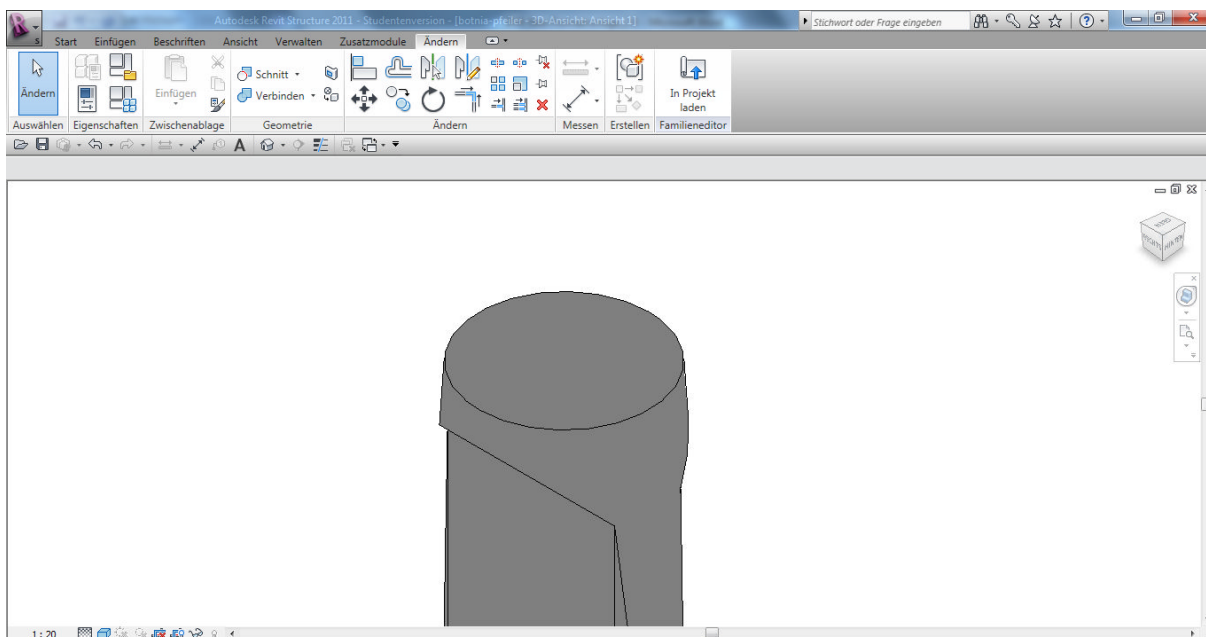


Abbildung 24: Gesamtansicht Botnia-Pfeilerkopf⁷⁷



Abbildung 25: Herstellung der Pfeiler mit Trägerschalung⁷⁸

⁷⁷ Quelle: Eigene Darstellung

⁷⁸ Quelle: Fotografie von Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Hollermann, 2009

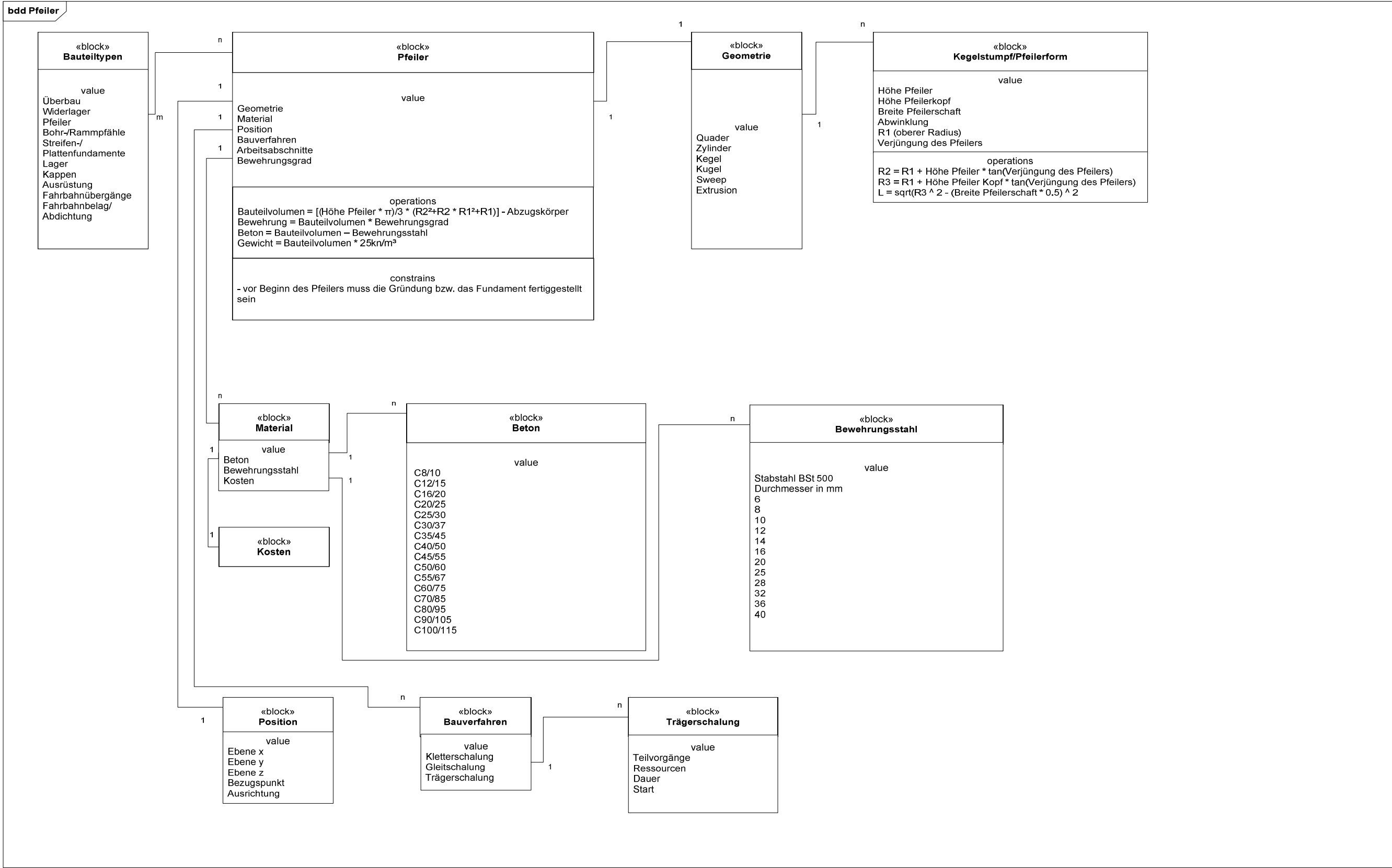


Abbildung 26: SysML-Modell Pfeiler⁷⁹

⁷⁹ Quelle: Eigene Darstellung

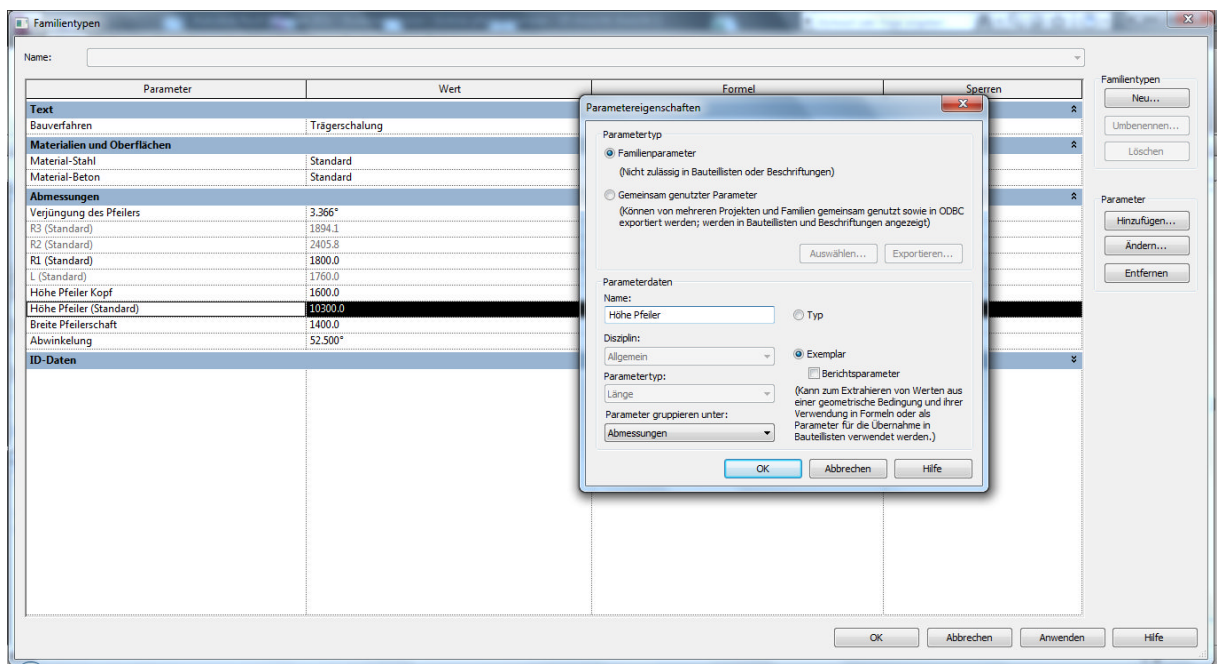


Abbildung 27: Parametereigenschaften⁸⁰

⁸⁰ Quelle: Eigene Darstellung

Anhang C: Überbau

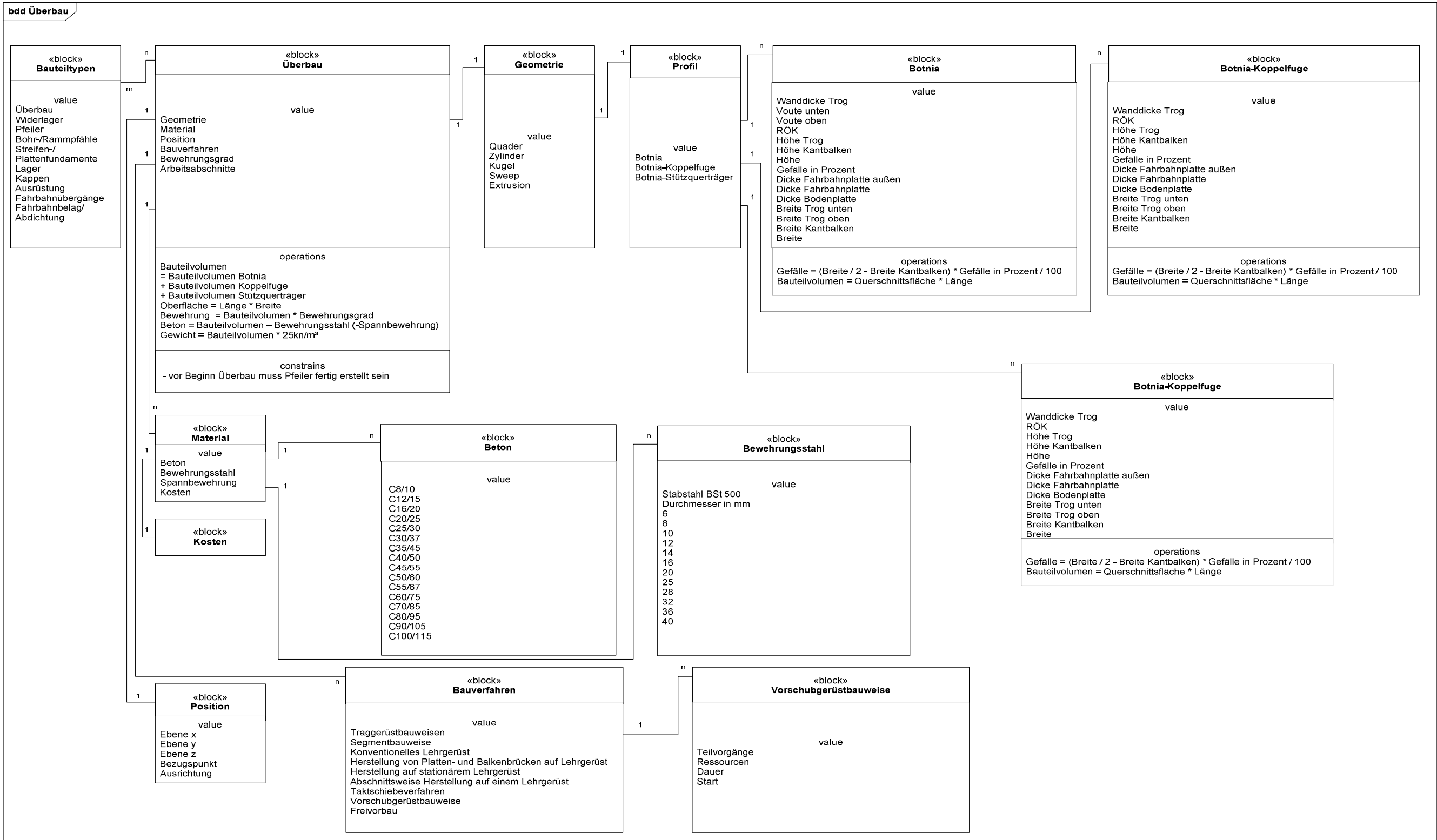


Abbildung 28: SysML-Modell Überbau⁸¹

⁸¹ Quelle: Eigene Darstellung

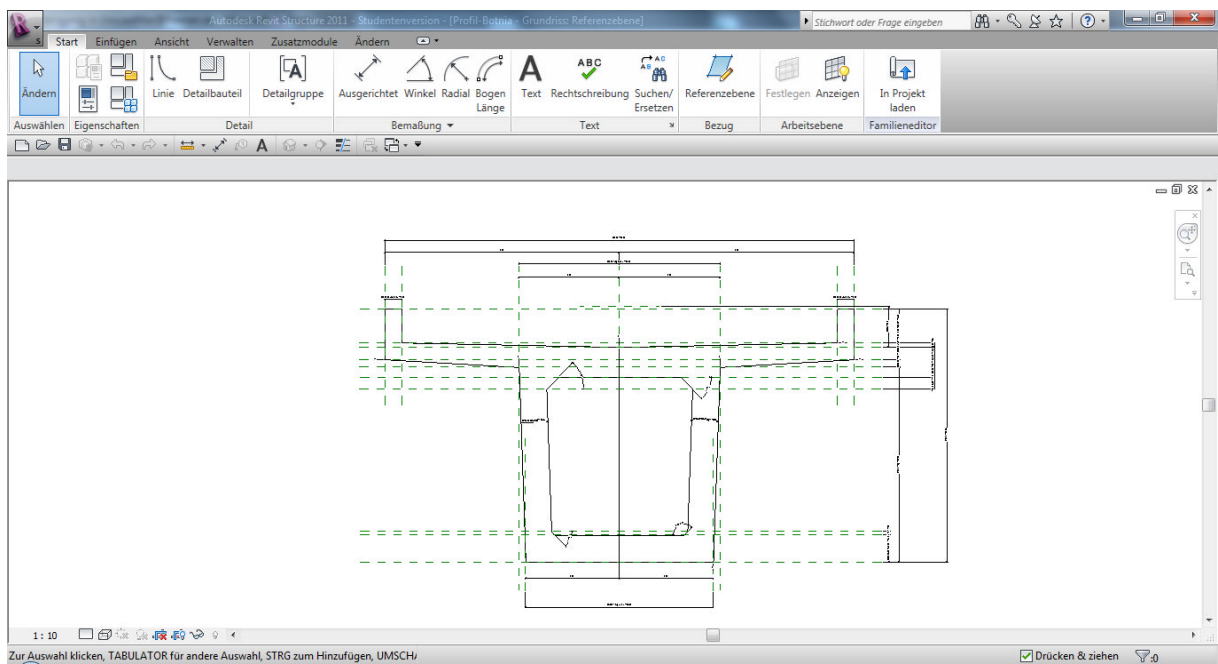


Abbildung 29: Profil Botnia⁸²

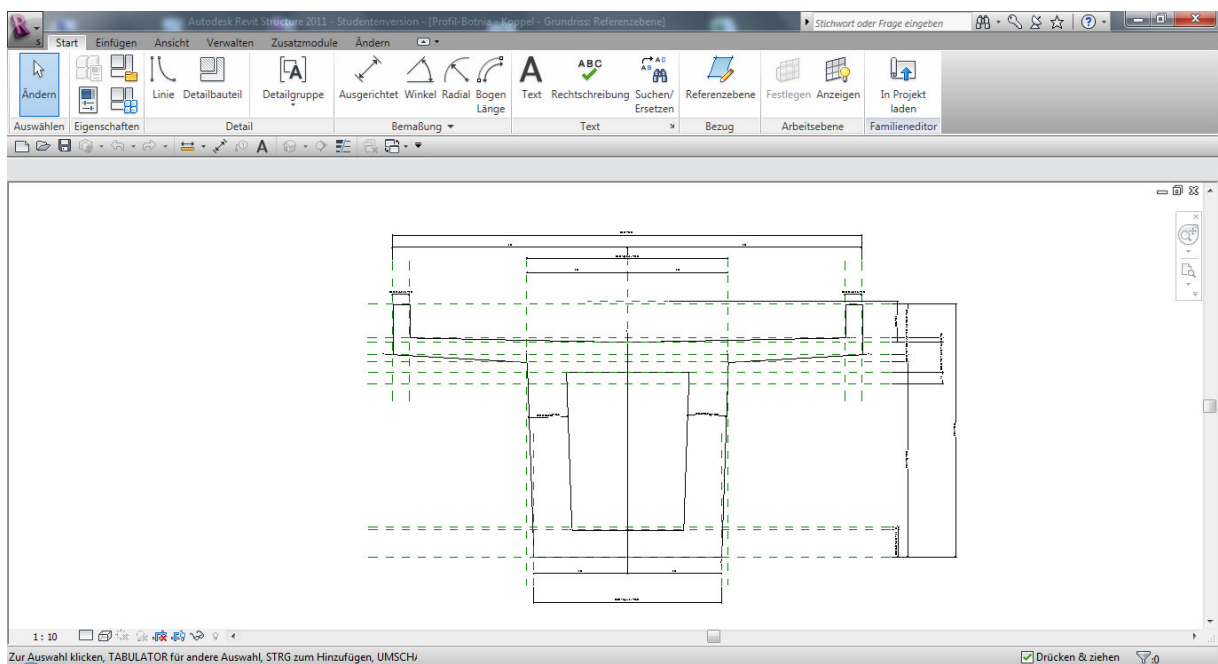


Abbildung 30: Profil Botnia-Koppelfuge⁸³

⁸² Quelle: Eigene Darstellung

⁸³ Quelle: Eigene Darstellung

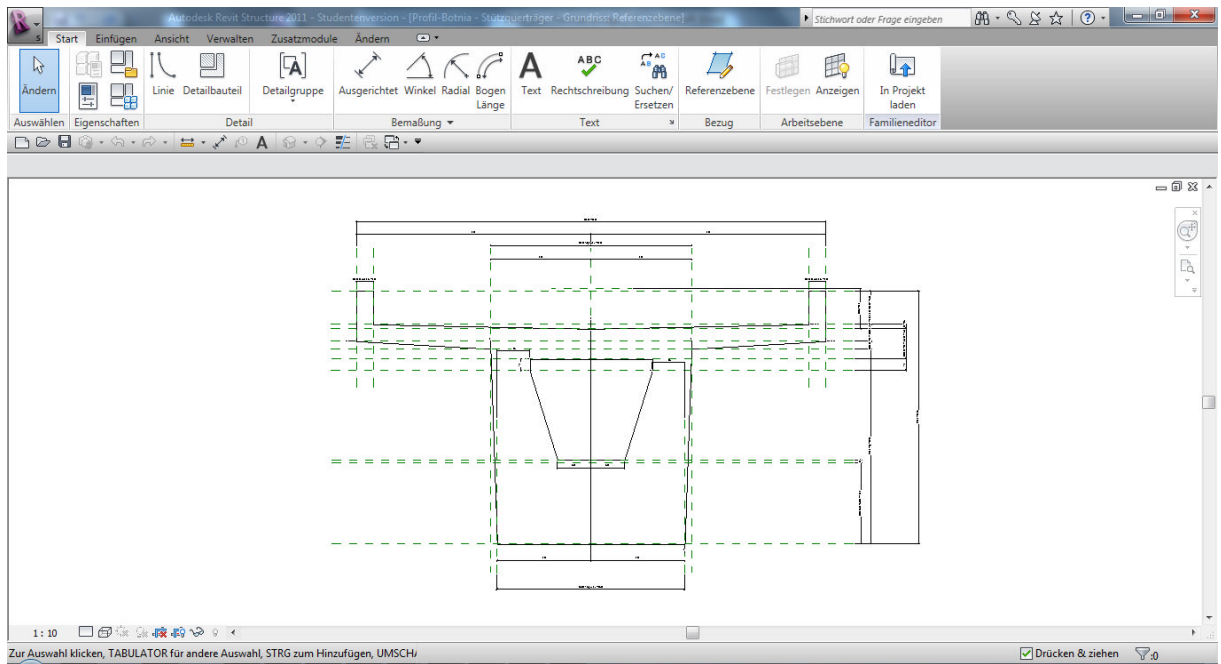


Abbildung 31: Profil Botnia -Stützquerträger⁸⁴

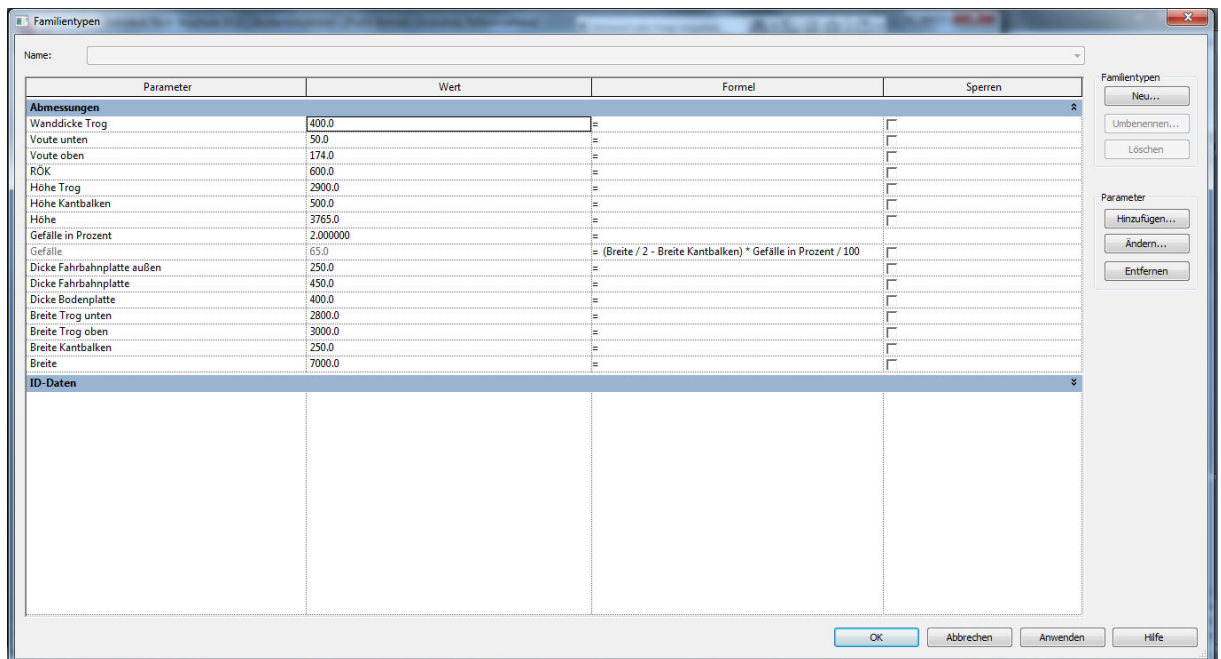


Abbildung 32: Familientypen Profil Botnia⁸⁵

⁸⁴ Quelle: Eigene Darstellung

⁸⁵ Quelle: Eigene Darstellung

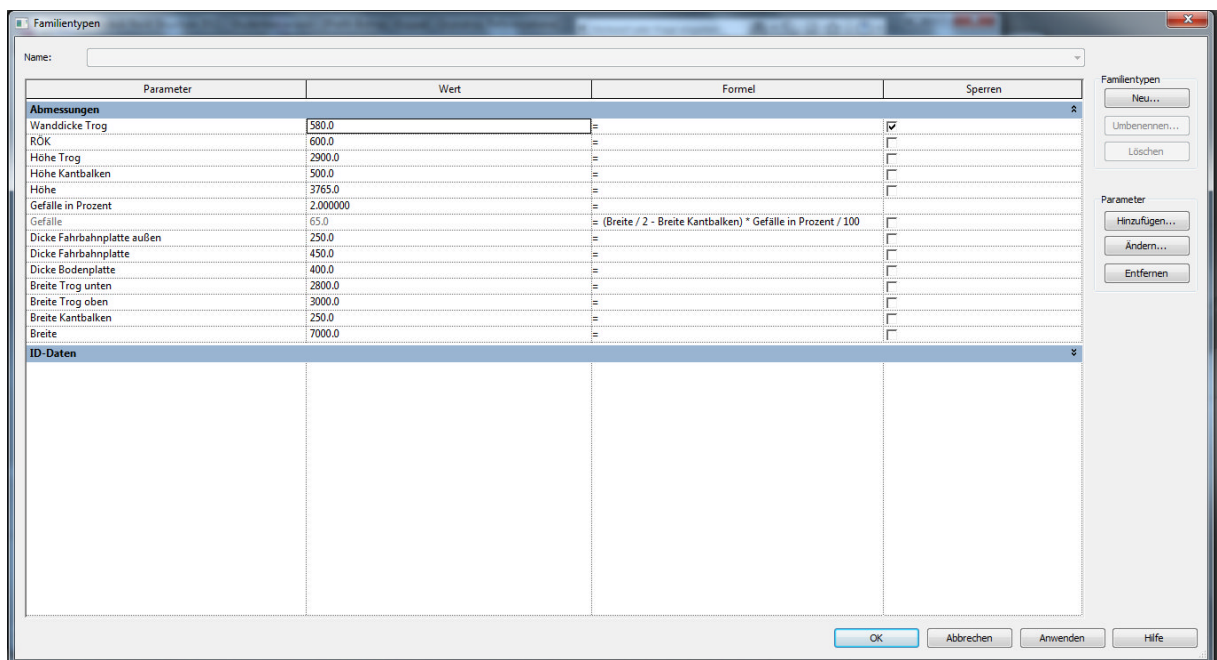


Abbildung 33: Familientypen Profil Botnia-Koppelfuge⁸⁶

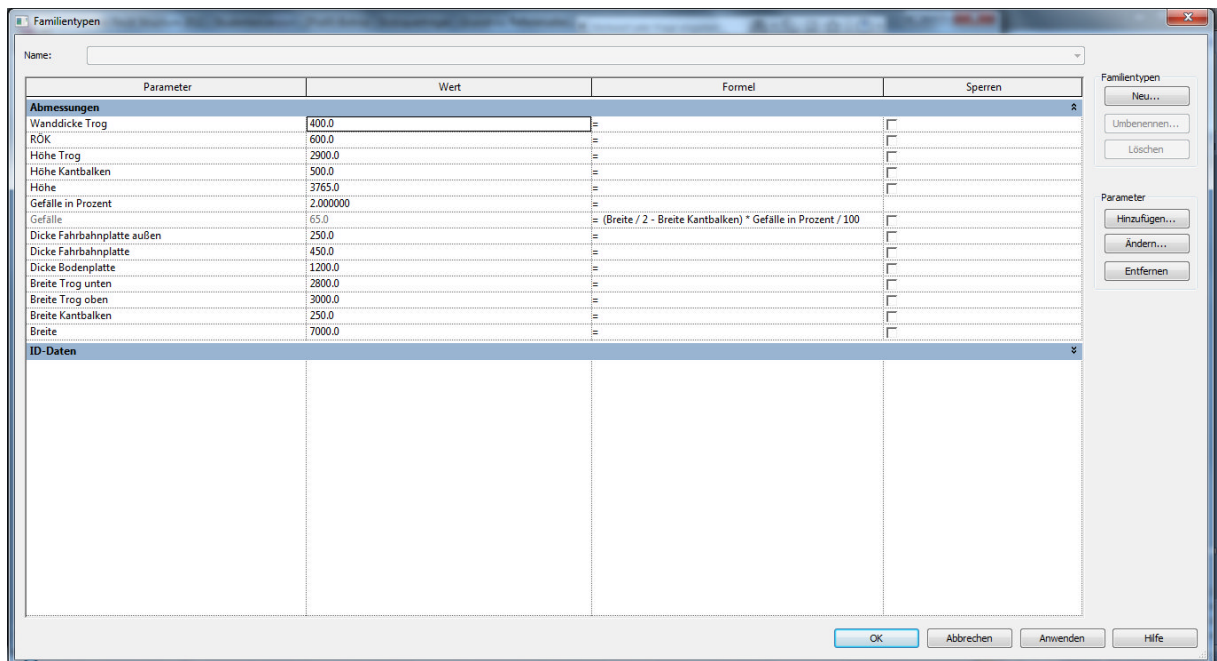


Abbildung 34: Familientypen Profil Botnia-Stützquerträger⁸⁷

⁸⁶ Quelle: Eigene Darstellung

⁸⁷ Quelle: Eigene Darstellung

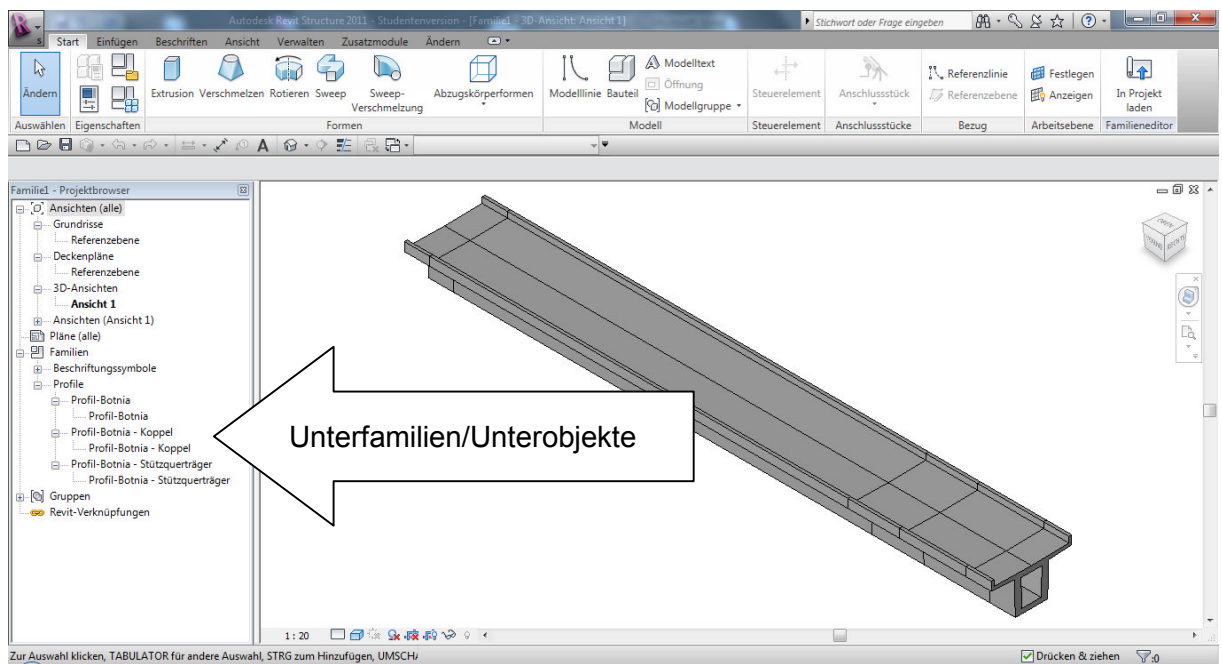


Abbildung 35: Unterfamilien/Unterobjekte des Überbaus⁸⁸

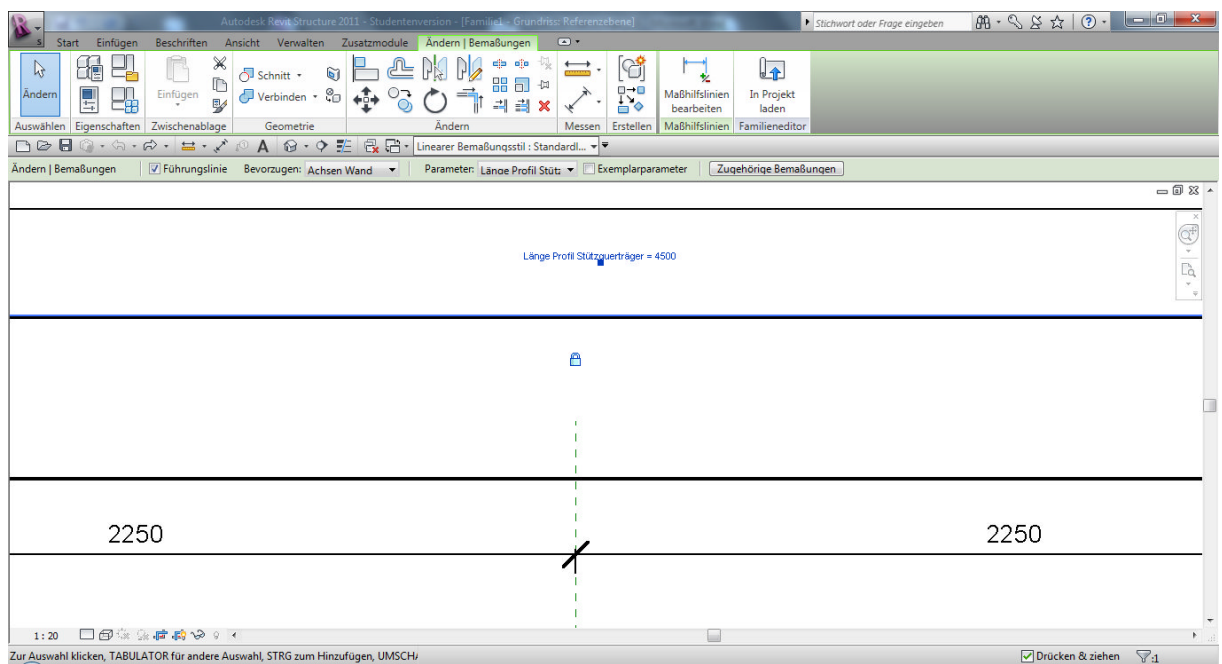


Abbildung 36: Gesperrter Parameter beim Profil Botnia-Stützquerträger⁸⁹

⁸⁸ Quelle: Eigene Darstellung

⁸⁹ Quelle: Eigene Darstellung

Parameter	Wert	Formel	Sperren
Materialien und Oberflächen			
Metall - Stahl (Standard)	0.000000		
Material 2	Metall - Stahl		
Material	Beton - Ortbeton		
Brückenoberfläche (Standard)	357.000	Länge * Breite	
Beton - Ortbeton	0.000		
Bauteilvolumen (Standard)	18.207.000		
Abmessungen			
Wanddicke Trog Koppelfuge	580.0		
Wanddicke Trog Stützquerträger	400.0		
Wanddicke Trog Botnia	400.0		
Voute unten Botnia	50.0		
Voute oben Botnia	174.0		
RÖK	600.0		
Länge Überhang	10200.0		
Länge Profil Stützquerträger	4500.0		
Länge Profil Koppelfuge	2200.0		
Länge (Standard)	51000.0		
Höhe Trog	2900.0		
Höhe Kantbalken	500.0		
Höhe	3765.0		
Dicke Fahrbahnplatte außen	250.0		
Dicke Fahrbahnplatte	450.0		
Dicke Bodenplatte Stützquerträger	1200.0		
Dicke Bodenplatte	400.0		
Breite Trog unten	2800.0		
Breite Trog oben	3000.0		
Breite Kantbalken	250.0		
Breite	7000.0		
Bemessungsergebnisse			
Bewehrung (Standard)	8011.080		
BEW	440.000000	Bauteilvolumen * BEW / 1000	

Abbildung 37: Familientypen der Hauptfamilie Überbau⁹⁰

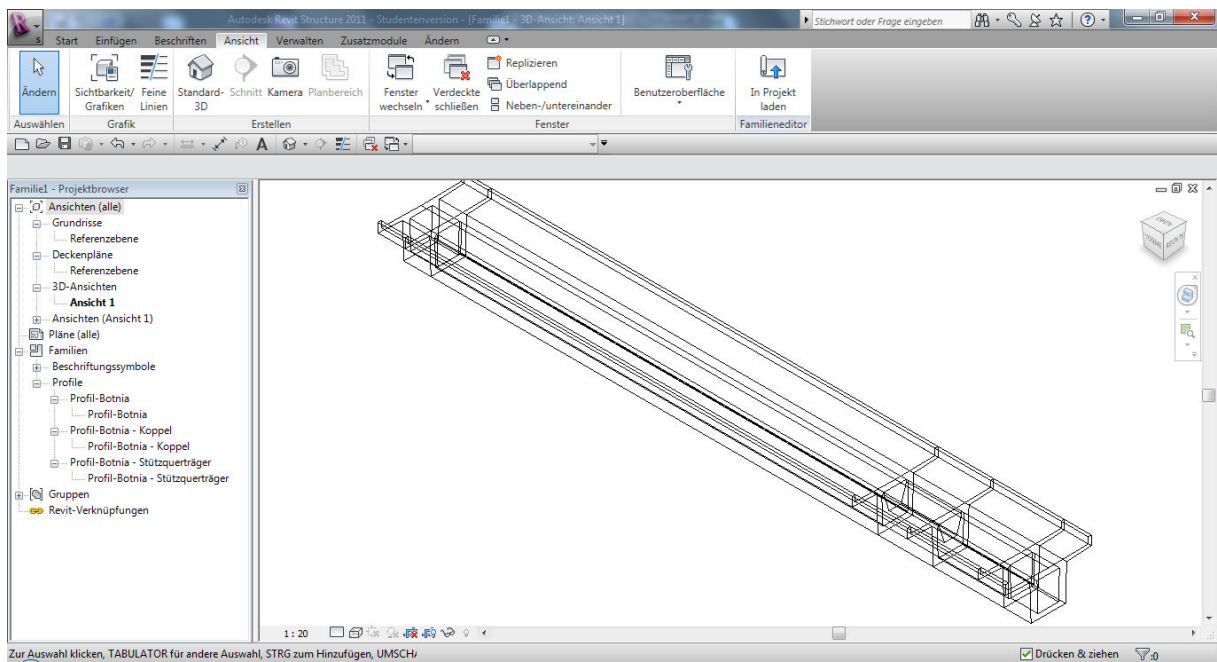


Abbildung 38: Familie Überbau als Drahtmodell⁹¹

⁹⁰ Quelle: Eigene Darstellung

⁹¹ Quelle: Eigene Darstellung

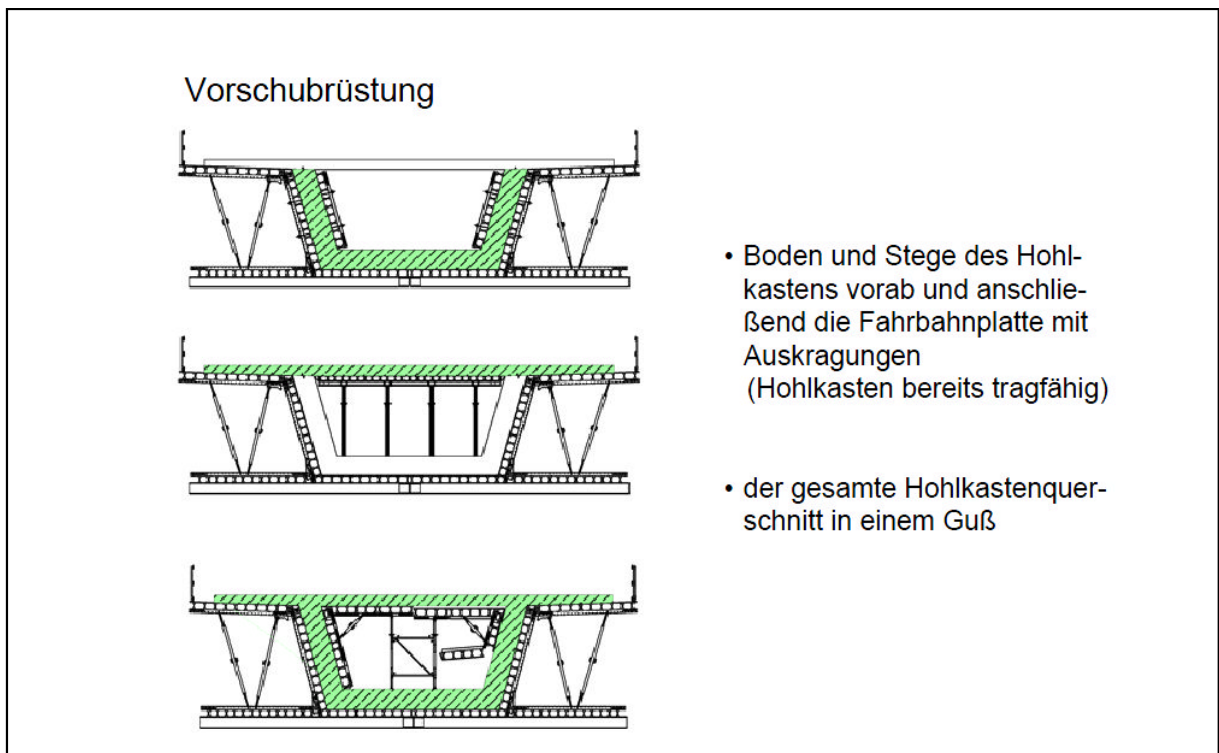


Abbildung 39: Betonierprozesse Überbau⁹²

⁹² Vgl.: Eber, 2009, S.8

Anhang D: Brücke

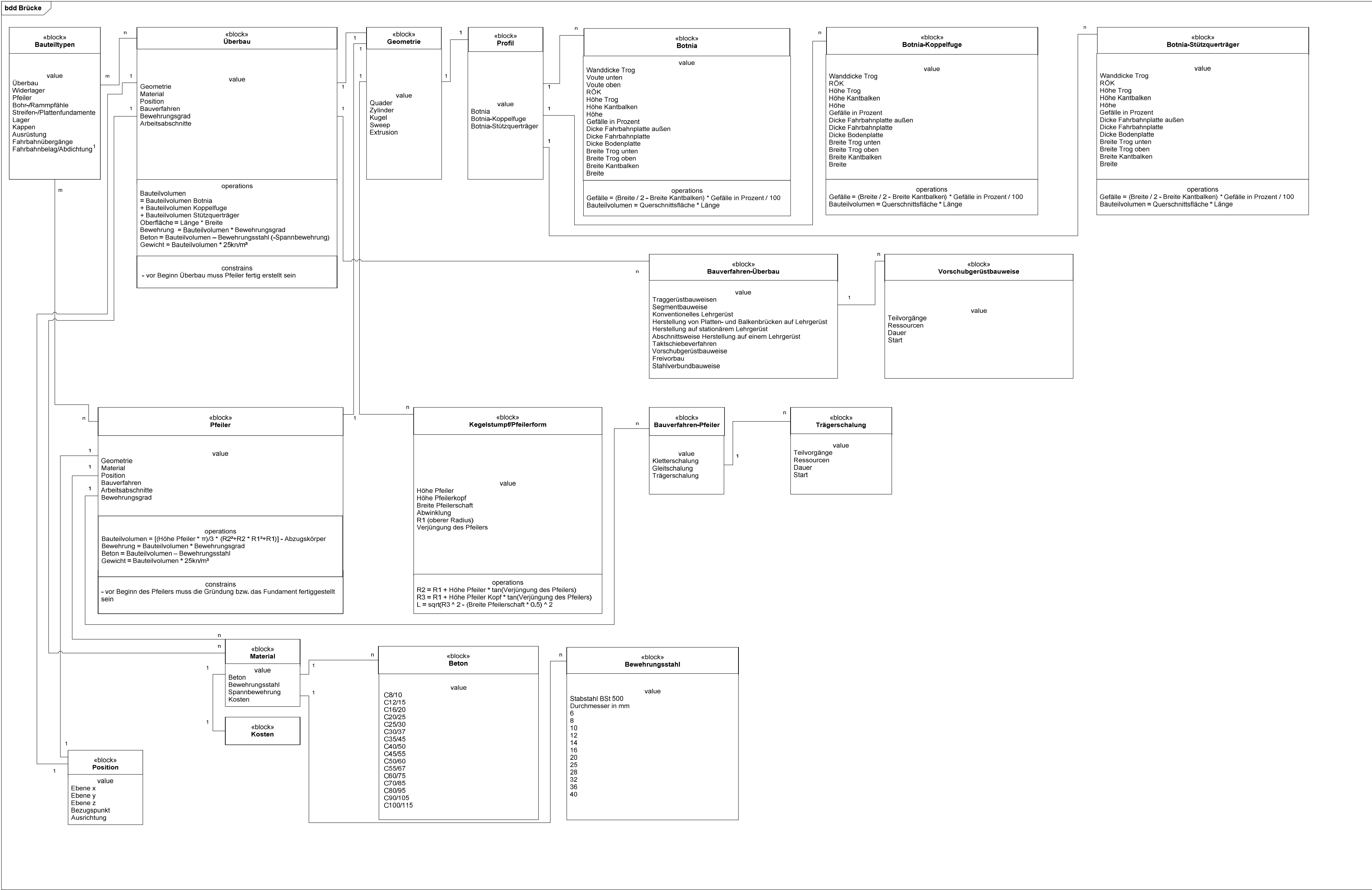


Abbildung 40: SysML-Modell Brücke⁹³

⁹³ Quelle: Eigene Darstellung

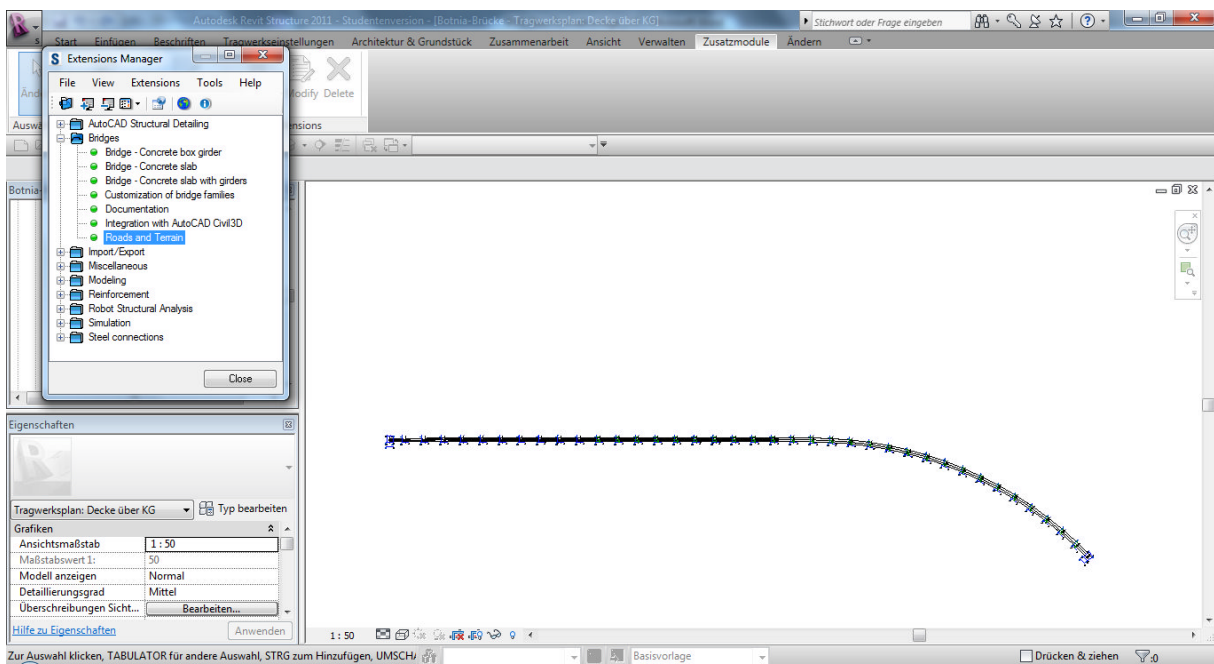


Abbildung 41: Roads and Terrain⁹⁴

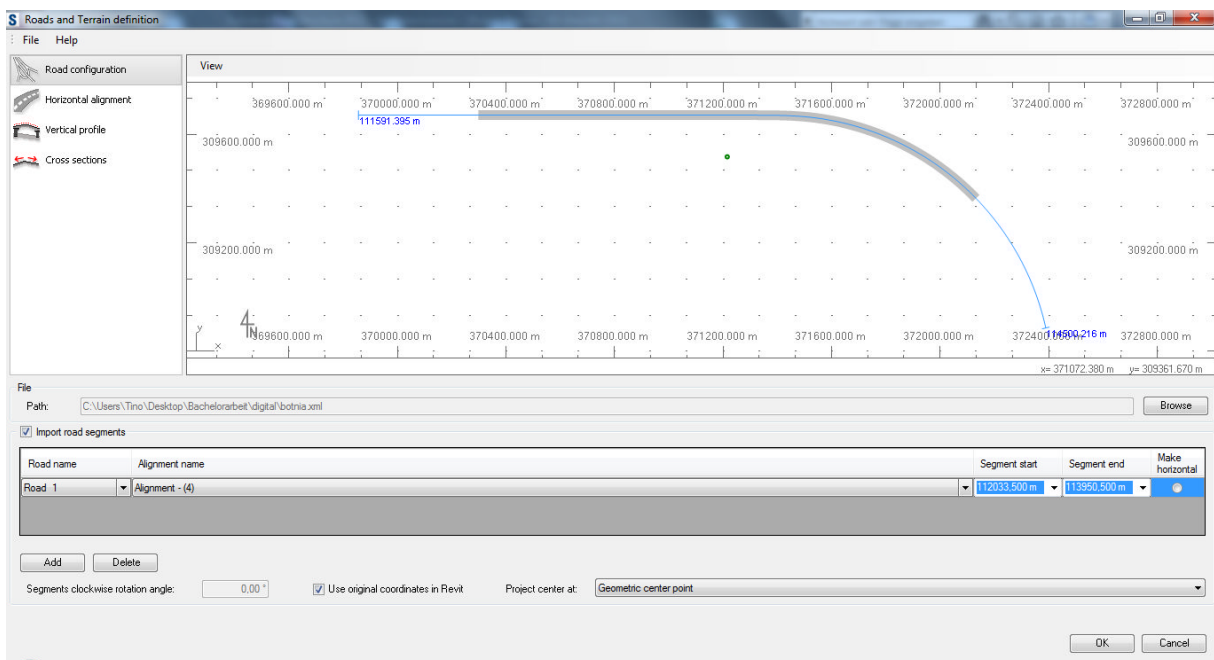


Abbildung 42: Roads and Terrain definition; Road configuration⁹⁵

⁹⁴ Quelle: Eigene Darstellung

⁹⁵ Quelle: Eigene Darstellung

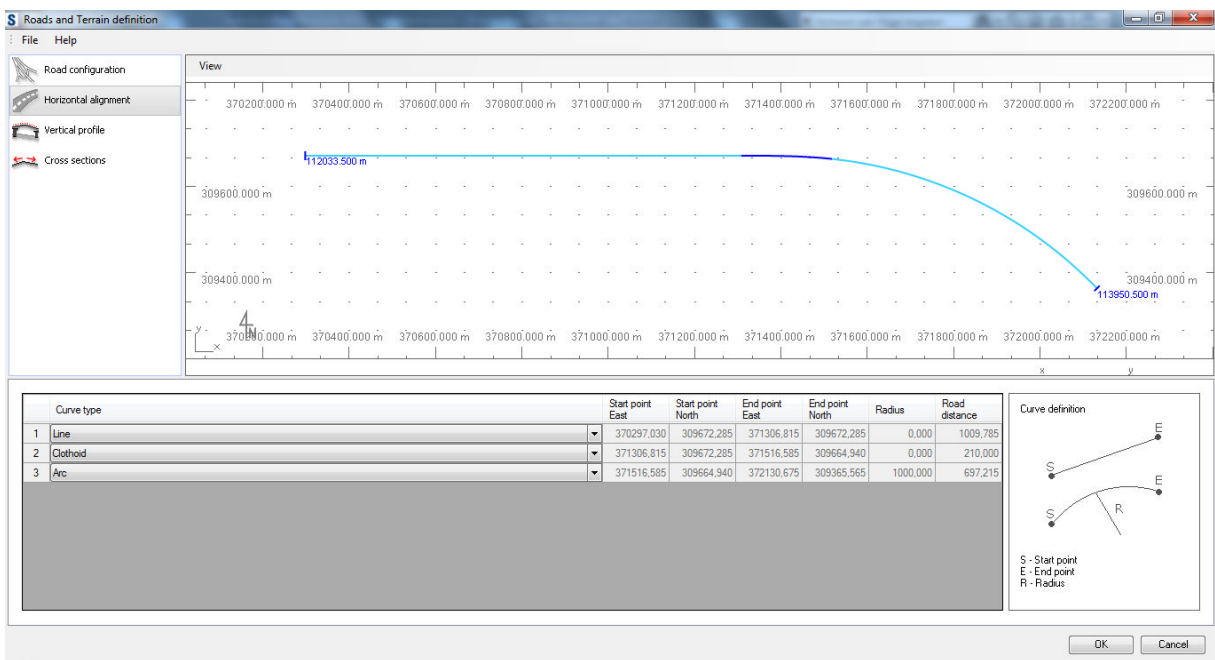


Abbildung 43: Roads and Terrain definition; Horizontal alignment⁹⁶

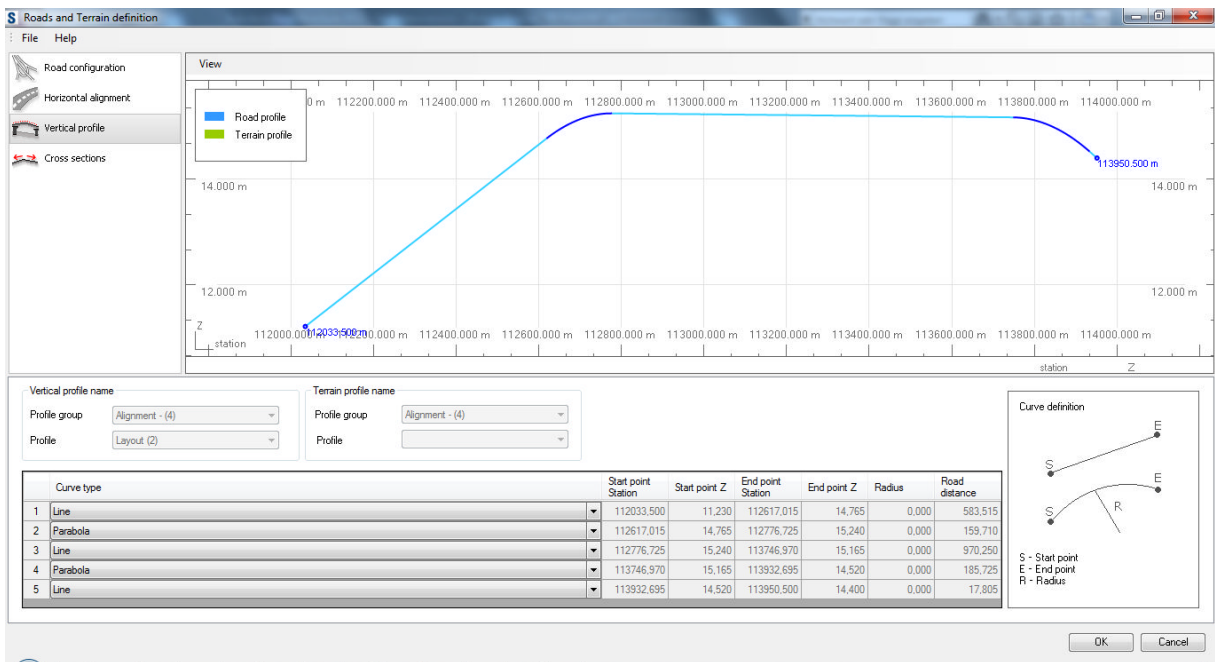


Abbildung 44: Roads and Terrain definition; Vertical profile⁹⁷

⁹⁶ Quelle: Eigene Darstellung

⁹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

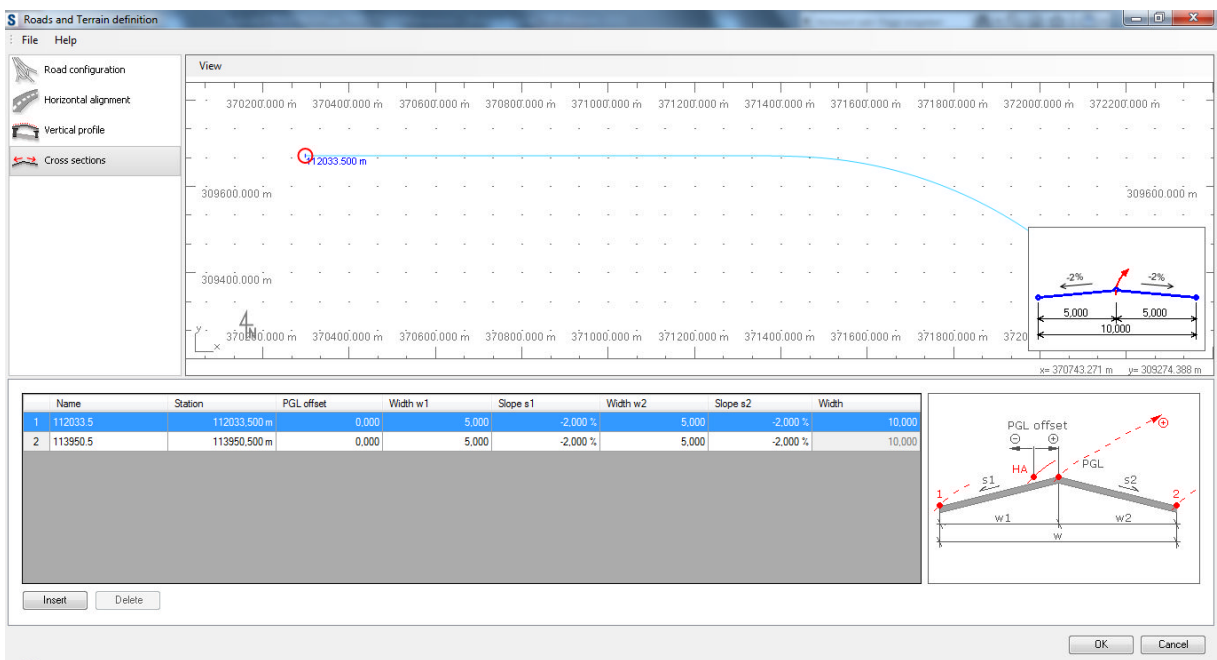


Abbildung 45: Roads and Terrain definition; Cross sections⁹⁸

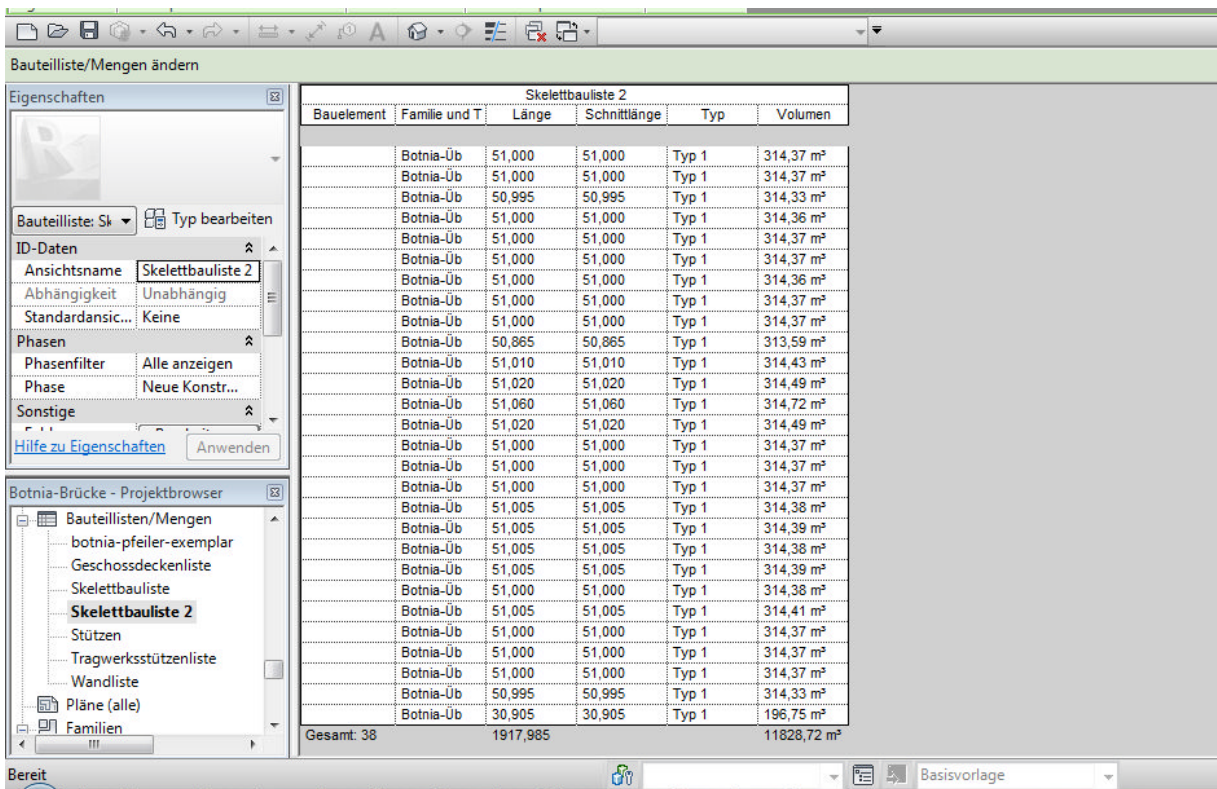


Abbildung 46: Bauteillisten in Revit⁹⁹

⁹⁸ Quelle: Eigene Darstellung

⁹⁹ Quelle: Eigene Darstellung

Thesen

1. Die Bauplanung ist ein kreativer und iterativer Prozess, der durch Informationen rund um das Bauprojekt geleitet wird. Der Prozess wird durch häufige Änderungen und immer mehr hinzukommenden Eingangsdaten, in Abstimmung zwischen den jeweiligen Fachplanern, generiert.
2. Um Herausforderungen, wie z.B. der Nachfrage nach komplexeren Verfahrenstechniken und der zunehmenden Forderung von Wirtschaftlichkeit bei geforderten gleichbleibenden bzw. kürzeren Entwicklungsphasen gerecht zu werden, wird im Baugeschehen immer mehr Wert auf die Simulation und die objektorientierte Modellierung von Bauteilen und Bauprozessen gelegt.
3. Das Projektieren und Planen von Bauwerken ist eine Ingenieurtätigkeit, welche sich vornehmlich durch die Erarbeitung und Verwaltung sehr umfangreicher Datenmengen auszeichnet.
4. Notwendige Informationen und Eigenschaften zu einem Projekt, sind all jene, die es ermöglichen, ein Bauprojekt zu realisieren, und zu einem erfolgreichen Endprodukt zu führen.
5. Die Form von bezogenen Informationen zur Darstellung von Ingenieuraufgaben beruht weitestgehend immer noch auf dem klassischen Medium der technischen Zeichnung in 2D.
6. Informationen und Daten müssen stets durchgängig gesammelt, aktualisiert und dokumentiert werden, um eine Wiederverwendbarkeit der Daten zu gewährleisten.
7. Durch eine parallele Bearbeitung von Projekten kommt es zu redundanter Datengenerierung und das Projekt enthält oft inkonsistente Informationen. Um dies zu vermeiden, muss das Ziel eine modellbasierte Ausrichtung des Ablaufes der Objekte in 3D-Modelle sein.
8. Eine grundlegende Eigenschaft einer BIM-Anwendung ist die Fähigkeit zur Koordination von Änderungen und die ständige Einhaltung der Konsistenz. Für das Aktualisieren von Zeichnungen oder Verknüpfungen ist kein Benutzereingriff erforderlich. Bei Änderungen bestimmt Revit sofort, welche Teile von dieser Änderung betroffen sind, und überträgt dies auf die entsprechenden Elemente.

9. Bei der Herstellung von Brücken haben etliche Abläufe einen hohen Wiederholungscharakter und haben das Potential mithilfe von Dokumentationen, Nacharbeitung, Standardisierung und Auswertung der Arbeitsschritte verbessert zu werden.
10. Die Entscheidung für ein Brückenbauverfahren ist maßgebend von den äußeren Randbedingungen wie Geländebeschaffenheit und Gradienten, wie auch von der Brückenlänge und Spannweite abhängig.
11. Um ein Produktmodell erstellen zu können, muss zu Beginn einer Modellierung das Anforderungsprofil an das zu entwickelnde Bauprozessmodell analysiert werden.
12. Projektabhängige Größen wie z.B., Bauwerksmodell, Ort, Termine usw., sind notwendig, um aus einem integrierten Produktmodell ein Ablaufmodell generieren zu können.
13. Die objektorientierte Projektbearbeitung bringt bedeutende Vorteile mit sich, jedoch bedarf es für die jetzige Baupraxis eine erhebliche Umstellung von Bearbeitungsabläufen, weshalb sie nur langsam den Weg ins Baugeschehen bis zur vollständigen Nutzung finden wird.

Literaturverzeichnis

Buch (Monographie):

Abeln 1990 ABELN, Olaf: *Die CA...-Techniken in der industriellen Praxis : Handbuch der computergestützten Ingenieur-Methoden*. München : Hanser, 1990. – ISBN 3446157913

Franz FRANZ, Volkhard: *Planung und Steuerung komplexer Bauprozesse durch Simulation mit modifizierten höheren Petri-Netzen*. Gesamthochsch. - Univ., Diss.--Zugl.: Kassel, 1989

Holst, Holst 2004 HOLST, Karl Heinz ; HOLST, Ralph: *Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton : Entwurf, Konstruktion und Berechnung*. 5. Aufl. Berlin : Ernst, 2004. – ISBN 3433028370

Kecher 2007 KECHER, Christoph: *UML 2.0 : Das umfassende Handbuch ; [aktuell zum UML-Standard 2.0, alle Diagramme und Notationselemente, Praxisbeispiele in C# und Java]*. 2., aktualisierte und erw. Aufl., 1. Nachdr. Bonn : Galileo Press, 2007 (Galileo computing). – ISBN 978-3-89842-738-8

Kossiakoff u. a. KOSSIAKOFF ; WILLIAM N. SWEET ; SAM SEYMOUR ; STEVEN M. BIEMER: *Systems Engineering Principles and Practice*

Laabs 1998 LAABS, Andreas: *Methoden für die Modellierung mit Objekten im Bauingenieurwesen*. Techn. Univ., Diss.--Berlin, 1998. Als Ms. gedr. Aachen : Shaker, 1998 (Berichte aus dem Bauwesen). – ISBN 3826538889

Mehlhorn, Aigner 2010 MEHLHORN, Gerhard ; AIGNER, Francesco: *Handbuch Brücken : Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*. 2. Aufl. Heidelberg : Springer, 2010. – ISBN 978-3-642-04422-9

REFA 1984 REFA: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums*. 7. Aufl. München : Hanser, 1984. – ISBN 3446127038

Richter 2009 RICHTER, Torsten: *Konzepte für den Einsatz versionierter Objektmodelle im Bauwesen*. Bauhaus-Univ., Fak. Bauing., Diss.--Weimar, 2009. Weimar : Verl. der Bauhaus-Univ, 2009 (Informatik in Architektur und Bauwesen 3). – ISBN 978-3-86068-403-0

- Richter-Hagen, Stucky 2004** RICHTER-HAGEN, Cornelia ; STUCKY, Wolffried: *Business-Process- und Workflow-Management : Prozessverbesserung durch Prozess-Management*. Stuttgart : Teubner, 2004 (Lehrbuch Informatik). – ISBN 3519004917
- Schnieder, Abel 1992** SCHNIEDER, Eckehard ; ABEL, Dirk: *Petrinetze in der Automatisierungstechnik : Mit 18 Tabellen*. München : Oldenbourg, 1992. – ISBN 3486220454
- Weilkiens 2006** WEILKIENS, Tim: *Systems engineering mit SysMLUML : Modellierung, Analyse, Design*. 1. Aufl. Heidelberg : dpunkt.verl, 2006. – ISBN 978-3-89864-409-9
- Werner Ullrich 2010** WERNER ULLRICH, Walter Pastor: *VOB : Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen ; Teil A und B ; Textausgabe*. 28. Aufl., Stand: 1.8.2010, Sonderausg. München : Dt. Taschenbuch-Verl, 2010 (Beck-Texte im dtv 5596)
- Wiendahl 2005** WIENDAHL, Hans-Peter: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 5. Aufl. München : Hanser, 2005. – ISBN 3446228535

Graue Literatur / Bericht / Report:

- bieber 21.08.2002** BIEBER: *CAE-Skript.PDF : CAE im Planungsprozess*. 21.08.2002
- Bittrch Daniel 08.04.1999** BITTRCH DANIEL: *IFC_Überblick.PDF*. 08.04.1999
- Böwe, Seifert, Walther 19.01.2011** BÖWE ; SEIFERT ; WALTHER: *Erfassung und Analyse von Bauverfahren und deren Abbildung in der UML*. 19.01.2011
- Eber 15.06.2009** EBER, Wolfgang: *Microsoft PowerPoint - WS_0809_S_1_06_LB_2_13_06_08 Brueckenbau 30.ppt*. 15.06.2009
- Hollermann Sebastian Juni 2011** HOLLERMANN SEBASTIAN; ING. KARL BEUKE, Dipl.-Ing Mechthild Bieber (Mitarb.): *CAE im Planungsprozess*. Weimar, Juni 2011

Internetdokument:

renderings - Deutsch-Übersetzung – Linguee Wörterbuch *renderings - Deutsch-Übersetzung – Linguee Wörterbuch*. URL <http://www.linguee.de/englisch-deutsch/uebersetzung/renderings.html> – Überprüfungsdatum 2011-09-29

24.01.2006. URL http://www.is.informatik.uni-duisburg.de/courses/mod_ws05/skript/kapitel405.pdf. – Aktualisierungsdatum: 2006-01-24 – Überprüfungsdatum 2011-09-28

06.12.2007. URL http://www.ag.ch/staffeleggstrasse/shared/bilder/staff_bstfotos05_nr13.jpg. – Aktualisierungsdatum: 2007-12-06 – Überprüfungsdatum 2011-09-29

EPK-Modellierung 10.04.2008 *EPK-Modellierung*. URL <http://www.re-wissen.de/opencms/Wissen/Techniken/EPK-Modellierung.html>. – Aktualisierungsdatum: 2008-04-10 – Überprüfungsdatum 2011-09-28

1.jpg (JPEG-Grafik, 500x326 Pixel) 03.12.2008 *1.jpg (JPEG-Grafik, 500x326 Pixel)*. URL <http://www.huettner-bau.de/images/projekte/bruecke.fischweg/1.jpg>. – Aktualisierungsdatum: 2008-12-03 – Überprüfungsdatum 2011-09-01

10.07.2009. URL http://de.academic.ru/pictures/dewiki/76/Lager_01_KMJ.jpg. – Aktualisierungsdatum: 2009-07-10 – Überprüfungsdatum 2011-09-29

Eritt 2010 *ERITT, Frank: ICE NBS Erfurt Leipzig/Halle - Unstruttalbrücke (2.668m), Bilder vom 24.11.2010*. URL http://www.baustellen-doku.info/grossprojekte/ice-neubaustrecke_erfurt-leipzig-halle/unstruttalbruecke/20101124/baustellen-bild-13.html. – Aktualisierungsdatum: 2010-11-25 – Überprüfungsdatum 2011-09-01

Frank Eritt 2009 *FRANK ERITT: Ausbau der BAB 4 - Sprottetalbrücke (180 m), Bilder vom 27.07.2009*. URL http://www.baustellen-doku.info/grossprojekte/ausbau-bundesautobahn-4/bw-135_sprottetalbruecke/20090727/baustellen-bild-1.html. – Aktualisierungsdatum: 2009-08-03 – Überprüfungsdatum 2011-09-29

matthewbiant 2011 *MATTHEWBIANT: In Revit verwendete Begriffe - WikiHelp*. URL http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%c3%bchr5/0006-Building6/0010-In_Revit10. – Aktualisierungsdatum: 2011-09-05 – Überprüfungsdatum 2011-09-05

matthewbiant 18.05.2011 MATTHEWBIANT: *Was bedeutet parametrisch?* - *WikiHelp*. URL http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%c3%bchr5/0006-Building6/0008-Was_bede8. – Aktualisierungsdatum: 2011-05-18 – Überprüfungsdatum 2011-09-05

matthewbiant 18.05.2011 MATTHEWBIANT: *Was ist Revit?* - *WikiHelp*. URL http://wikihelp.autodesk.com/Revit/deu/2012/Help/0000-Revit-Be0/0005-Einf%c3%bchr5/0006-Building6/0007-Was_ist_7. – Aktualisierungsdatum: 2011-05-18 – Überprüfungsdatum 2011-09-05

Zeitschriftenaufsatz:

Autodesk Juni 2009 AUTODESK: *Revit Architecture 2010 Familienhandbuch : Übungslektion (Metrisch)* (Juni 2009) – Überprüfungsdatum 2011-09-05

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die Arbeit wurde weder in dieser oder einer ähnlichen Form noch in Auszügen bereits einer Prüfstelle vorgelegt.

Weimar, den 04.10.2011

.....