

Projektarbeit

Untersuchungen zum Einsatz der BIM-Methode im konstruktiven Ingenieurbau anhand des Projektes „Neubau Brücke im Zuge der Verlängerung Wiesenstraße-Nord in Jena über die Anlagen der Deutschen Bahn“

eingereicht von

Dominik Nils Sonnek

geb. am 13.05.1993 in Kirchheim unter Teck

Matrikel-Nummer: 4603612

Verantwortlicher:

Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel

Betreuer/in:

- Dipl.-Ing. Johannes Frank Schüler
- Christoph Großmann, BIM Manager IPROconsult GmbH

Dresden, den 22.02.2021

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich reiche sie erstmals als Prüfungsleistung ein. Mir ist bekannt, dass ein Betrugsversuch mit der Note „nicht ausreichend“ (5,0) geahndet wird und im Wiederholungsfall zum Ausschluss von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen führen kann.

Name: Sonnek

Vorname: Dominik Nils

Matrikelnummer: 4603612

Dresden, den

Unterschrift Bearbeiter



Aufgabenstellung für die Projektarbeit (Modul BIW5-01)

Name: cand. ing. Dominik Nils Sonnek

Matr.-Nr.: 4603612

Vertiefung: Konstruktiver Ingenieurbau

Thema: Untersuchungen zum Einsatz der BIM-Methode im konstruktiven Ingenieurbau anhand des Projektes: Neubau Brücke im Zuge der Verlängerung Wiesenstraße-Nord in Jena über die Anlagen der Deutschen Bahn

(Investigations on the application of the BIM method in structural engineering on the basis of the project: construction of a bridge in the course of extension Wiesenstraße-Nord in Jena over the facilities of Deutsche Bahn)

Zielsetzung:

Building Information Modeling (BIM) beschreibt u.a. eine Methode der integralen Planung von Bauwerken durch die Erstellung von parametrisierten Gebäudemodellen und der Informationsverarbeitung und -verwendung über alle Lebenszyklusphasen hinweg. Während die BIM-Methode im Hochbau bereits weit verbreitet ist, sind Kenntnisse und Erfahrungen im Infrastrukturbereich noch nicht weit verbreitet.

Im Zuge der Digitalisierung und Anwendung der BIM-Methode bei der IPROconsult, soll ein Pilotprojekt im konstruktiven Ingenieurbau die Grundlage für weitere Projekte darstellen. IPROconsult hat von der Stadt Jena den Planungsauftrag zur Vorplanung des Projekts „Verlängerung Wiesenstraße-Nord in Jena und Hochwasserschutz Gewerbegebiet Zwätzen-Ost“ erhalten. Es ist die Verlängerung der bestehenden Wiesenstraße bis zum Anschluss an den Bestand der B 88 zu planen. Dabei ist ein Brückenbauwerk (Straßenüberführung) über eine elektrifizierte Bahnstrecke wesentlicher Bestandteil. Aufgrund der örtlichen Verhältnisse kommt als Tragwerkslösung bevorzugt eine Spannbeton-Fertigteillösung oder eine Stahlverbundbauweise für den Überbau in Betracht.

Die in einer bei IPROconsult durchzuführenden Variantenuntersuchung favorisierte Linienführung der Wiesenstraße-Nord bildet dabei die Grundlage für die Modellierung der Brücke über die zweigleisige Eisenbahnstrecke. Für die konzeptionelle Entwicklung von drei Varianten des Neubaus im Umfang der Vorplanung (Leistungsphase 2 gemäß HOAI) sind die technischen und rechtlichen Randbedingungen zu berücksichtigen. Im Ergebnis der Untersuchungen soll für die Vorzugsvariante ein parametrisierbares BIM-Modell erstellt werden. Besonderer Augenmerk liegt auf der Erstellung und Gruppierung von für Brückenbauwerken typischen Trag- und Konstruktionselementen sowie einem Vergleich zwischen herkömmlicher Arbeitsweise und der BIM-Methode am konkreten Projekt.

Arbeitsumfang:

Im Rahmen der Ausarbeitung sollen die folgenden Punkte bearbeitet werden:

1. Literaturrecherche zu den Leistungsanforderungen einer Vor- und Entwurfsplanung von Bauwerken des konstruktiven Ingenieurbaus (speziell Brückenbauwerk), zusätzlich sind die vom BMVI seit 2015 geförderten BIM-Pilotprojekte zu analysieren und Standardisierungsansätze zusammenzufassen
2. Parametrische Modellierung von zwei Varianten des Brückenbauwerks für die Vorplanung des beschriebenen Bauvorhabens mit Autodesk Revit und dem SOFISTIK Bridge Modeler
3. Eruiierung des Informationsgehalts (LOI) und der zeichnerischen Anforderungen (LOG) an die konstruktiven Elemente des Bauwerks durch die Leistungsphasen bis einschließlich LPh5 nach HOAI
4. Vergleich der 2D- und 3D-Arbeitsweisen in Bezug auf die Erstellung von Plänen und Ermittlung von Massen und Mengen in Zusammenarbeit mit den Fachplanern der IPROconsult in den frühen Planungsphasen (LPh2 der HOAI)
5. Nachvollziehbare Dokumentation der Entwicklungsschritte und der Ergebnisse in einem schriftlichen Bericht.
6. Aufbereitung und öffentliche Präsentation der Ergebnisse an der TU Dresden und der IPROconsult

Wissenschaftlicher Betreuer:

Dipl.-Ing. Johannes Schüler
Institut für Bauinformatik
Technische Universität Dresden

Verantwortlicher Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel
Institut für Bauinformatik
Technische Universität Dresden

Ausgehändigt am:

05.10.2020

Einzureichen am:

25.01.2021


Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel
Verantwortlicher Hochschullehrer

DANKSAGUNG

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei den Mitarbeitern des Instituts für Bauinformatik bedanken, die mir während der Ausarbeitung dieser Projektarbeit unterstützend zur Seite standen. Ein besonderer Dank gilt dabei:

Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel danke ich für die Schaffung der Rahmenbedingungen meiner Projektarbeit und kommenden Diplomarbeit. Er stand mir mit Anregungen und Ratschlägen zur Seite.

Dipl.-Ing. Frank Schüler danke ich für die Betreuung dieser Projektarbeit. Selbst trotz eines neuen Beschäftigungsverhältnisses brachte er die Zeit auf, mir bei Fragen und Problemen zu helfen.

Ein weiterer Dank geht an die Mitarbeiter der IPROconsult GmbH, die mich als Teil ihres Teams aufnahmen und mir stets zur Seite standen. Ein besonderer Dank gilt hierbei:

Christoph Großmann, M.Sc., BIM-Manager der IPROconsult GmbH, für die Betreuung dieser Projektarbeit und dafür, dass er mir stets Hilfestellungen und Unterstützung bot.

Dipl.-Ing. Judith Zavesky danke ich für die vielen Hilfestellungen und Erläuterungen und das Aufzeigen verschiedener Perspektiven. Des Weiteren danke ich ihr für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Ich möchte mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während meines Studiums und insbesondere während der Bearbeitungsphase dieser Arbeit unterstützt haben.

Ein besonderes Dankeschön gebührt zum einen Michael Maier, der mir durch Korrekturlesen und konstruktive Ratschläge zur Seite stand.

Zum andern möchte ich meinem Vater Dr. Mathias Sonnek für das Korrekturlesen, die vielen Anregungen und die moralische Unterstützung danken.

I INHALTSVERZEICHNIS

I	Inhaltsverzeichnis.....	IV
II	Abbildungsverzeichnis.....	VII
III	Tabellenverzeichnis.....	X
IV	Abkürzungsverzeichnis.....	- 1 -
1	Einleitung.....	- 2 -
1.1.	Motivation.....	- 2 -
1.2.	Methodik und Vorgehen der Arbeit.....	- 3 -
2	Die BIM-Methodik in der Infrastruktur	- 4 -
2.1.	Übersicht Europäischer BIM-Normen	- 4 -
2.2.	State of the Art	- 7 -
2.3.	Leistungsniveau 1.....	- 8 -
2.4.	Stufenplan Digitales Planen und Bauen.....	- 8 -
2.4.1.	Stufe 1: Pilotprojekte	- 9 -
2.4.1.1	Pilotprojekt 1: Brücke über den Petersdorfer See	- 12 -
2.4.1.2	Pilotprojekt 2: Eisenbahnüberführung Filstal	- 16 -
2.4.1.3	Pilotprojekt 3: Talbrücke Auenbach	- 21 -
2.4.1.4	Pilotprojekt 4: Tunnel Rastatt	- 25 -
2.4.1.5	Vergleich und Schlussfolgerungen	- 29 -
2.4.2.	Nachfolgende Stufen	- 32 -
2.5.	Standardisierungen.....	- 34 -
2.5.1.	Grundlagen.....	- 34 -
2.5.2.	Vertragswesen.....	- 34 -
2.5.2.1	Auftraggeberinformationsanforderungen	- 35 -
2.5.2.2	BIM-Abwicklungsplan	- 36 -
2.5.2.3	Anwendungsfälle	- 37 -
2.5.3.	IFC INFRA	- 42 -
2.6.	Fertigstellungsgrad der Leistungsphasen	- 47 -
2.6.1.	LOG, LOI und LOD.....	- 47 -
2.6.2.	Level of Development der Leistungsphasen 1-5.....	- 50 -

3	Die Brückenmodellierung	- 54 -
3.1.	Grundlagen der Modellierung.....	- 54 -
3.1.1.	Topographisches Modell	- 54 -
3.1.2.	Adaptive Bauteile	- 55 -
3.1.3.	Die Bauteilfamilien und Features des SOFiSTiK Bridge modelers.....	- 57 -
	3.1.3.1 Achsenmodellierung	- 58 -
	3.1.3.2 Überbauten	- 60 -
	3.1.3.3 Unterbauten	- 61 -
	3.1.3.4 Querträger	- 61 -
	3.1.3.5 Träger und Trägerlayouts	- 62 -
	3.1.3.6 Kappen	- 63 -
	3.1.3.8 Gelände	- 63 -
	3.1.3.9 Längsschnitte, Querschnitte, Draufsichten	- 63 -
	3.1.4.10 Geteilte Modelle	- 64 -
3.1.4.	Standardisierungsansätze	- 64 -
3.2.	Die modellierten Varianten	- 66 -
3.2.1.	Konzeption und Modellanforderungen	- 66 -
3.2.2.	Variante 1: Stahlverbundbau	- 67 -
3.2.3.	Variante 2: Spannbetonfertigteil	- 78 -
3.3.	Vergleich zur konventionellen Arbeitsweise	- 81 -
3.3.1.	Mengenermittlung und Kostenschätzung	- 81 -
	3.3.1.1 Konventionelle Mengenermittlung und Kostenschätzung: Vorgehen ..	- 81 -
	3.3.1.2 Modellbasierte Mengenermittlung und Kostenschätzung	- 82 -
	3.3.1.3 Vergleiche der Vorgehensweisen	- 84 -
3.3.2.	Planerstellung	- 84 -
	3.3.2.1 Konventionelle Planerstellung: Vorgehen	- 84 -
	3.3.2.2 Plan- und Schnittableitung aus dem Modell	- 85 -
	3.3.2.3 Vergleich der Vorgehensweisen	- 85 -
4	Schlusswort und Ausblick.....	- 88 -
5	Literaturverzeichnis	i
V	Anlagenverzeichnis	vi
Anlage 1	Digitales Anlagenverzeichnis	i

Anlage 2	LOD des Brückenmodells der LPH 2.....	ii
Anlage 3	LOD des Brückenmodells der LPH 3.....	iii
Anlage 4	LOD des Brückenmodells der LPH 5.....	iv
Anlage 6	Materialliste Spannbetonfertigteilentwurf.....	vi

II ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zeitstrahl des Dreistufenplans (eigene Darstellung).....	- 9 -
Abbildung 2: Model Petersdorfer Brücke nach (24).....	- 12 -
Abbildung 3: Reifegrad der Brücke über den Petersdorfer See nach (24).....	- 16 -
Abbildung 4: Filstalbrücke nach (27) und (28)	- 17 -
Abbildung 5: Reifegrad Pilotprojekt EÜ Filstal nach (26)	- 21 -
Abbildung 6: Talbrücke Auenbach nach (29)	- 22 -
Abbildung 7: Reifegrad der Talbrücke Auenbach nach (29)	- 25 -
Abbildung 8: Tunnel Rastatt nach (30)	- 25 -
Abbildung 9: Reifegrad des Tunnels Rastatt nach (30)	- 29 -
Abbildung 10: Gemittelter Reifegrad der Pilotprojekte nach (34)	- 32 -
Abbildung 11: Erweiterte Pilotprojekte der DB Netze nach (35).....	- 33 -
Abbildung 12: Eine Übersicht der Anwendungsfälle nach (37).....	- 39 -
Abbildung 13: NAV-Verhältnisse nach (37)	- 40 -
Abbildung 14: Einordnung der AwF in Kategorie nach (37).....	- 41 -
Abbildung 15: Zuordnung der AwF zu den einzelnen Leistungsphasen nach (37)	- 42 -
Abbildung 16: Struktur IFC Infra nach (39) inklusive Zeitlicher Etappenziele	- 43 -
Abbildung 17: Beispielmodell 1: Brücke Bergedorfer Straße, BAB1, WTM Engineers GmbH, Hamburg; Beispielmodell 3: Cambridge SEEBridge project, University of Cambridge, Beispielmodell 4: BeamBridge, Tim Chipman, Constructivity	- 44 -
Abbildung 18: Übersicht der Klassifizierung eines Geländers nach ASB-ING_2013.....	- 44 -
Abbildung 19: Extrusionsdefinition nach IFC Bridge Beispielmodell 3.....	- 45 -
Abbildung 20: Achsenorientierte Extrusion nach dem IFC Bridge Beispielmodell 4.....	- 46 -
Abbildung 21: Beispielüberlegungen zum LOG, (42)	- 48 -
Abbildung 22: Beispieleines LOD nach (13)	- 49 -
Abbildung 23: Geländemodell des Projektes Jena(eigene Darstellung).....	- 55 -

Abbildung 24: Adaptives Fassadenelement (Eigene Darstellung)	- 57 -
Abbildung 25: Eingefügtes Fassadenelement (Eigene Darstellung)	- 57 -
Abbildung 26: Struktur der Achsdaten sowie die Koordinaten der Abschnitte in globalen und lokalen Koordinaten (eigene Darstellung)	- 58 -
Abbildung 27: Beispiel einer Rampe in Murrelbahnoptik (eigene Darstellung)	- 59 -
Abbildung 28: Sekundärachsenbeispiel (eigene Darstellung)	- 59 -
Abbildung 29: Variablenbeispiel (eigene Darstellung)	- 60 -
Abbildung 30: Regelquerschnitt entsprechend des Erläuterungsberichts der Stadt Jena ..	66 -
Abbildung 31: Ansicht der Stahlverbundbrücke (eigene Darstellung)	- 67 -
Abbildung 32: Horizontale Ansicht der Achse sowie die horizontale Trassierung und die Placements (eigene Darstellung)	- 68 -
Abbildung 33: Böschungsquerschnitt mit Wertzuweisung sowie Beispiel der Querschnittsparameter (eigene Darstellung)	- 69 -
Abbildung 34: Böschungsrundung links mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 70 -
Abbildung 35: Widerlager Ba2 mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 71 -
Abbildung 36: Erdvolumenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 72 -
Abbildung 37: Brückenplattenquerschnitt mit Wertzuweisung (eigene Darstellung) ...	- 73 -
Abbildung 38: Querschnittsbemessung durch die Tragwerksplanung entsprechend der IPROconsult	- 73 -
Abbildung 39: Straßenaufbauquerschnitt und Wertzuweisung (eigene Darstellung) ..	- 74 -
Abbildung 40: Kappenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 75 -
Abbildung 41: Geländermodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 76 -
Abbildung 42: Leitplankenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 76 -
Abbildung 43: Trägermodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 77 -
Abbildung 44: Stahlträger am Querschnitt (eigene Darstellung)	- 78 -
Abbildung 45: Ansicht Spannbetonfertigteilbrücke (eigene Darstellung)	- 78 -
Abbildung 46: Innerer Träger und rechter Randträger mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)	- 79 -

Abbildung 47: Fertigteilträger am Querschnitt (eigene Darstellung)	- 80 -
Abbildung 48: Beispielauszug einer Mengenermittlung und Kostenschätzung der IPROconsult	- 81 -
Abbildung 49: Ausschnitt der Materialliste des Stahlverbundbauentwurfs (eigene Darstellung)	- 83 -
Abbildung 50: Kostenschätzungen des Stahlverbundentwurfs (l.) und Spannbetonfertigteilentwurfs (r.) (eigene Darstellung).....	- 83 -

III TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der Normen nach CEN TC442	- 4 -
Tabelle 2: Übersicht des British Standard.....	- 5 -
Tabelle 3: Zusätzliche BIM-relevante Normen.....	- 5 -
Tabelle 4: Richtlinien der VDI	- 5 -
Tabelle 5: Handreichungen der BIM4INFRA2020	- 6 -
Tabelle 6: Vergleich der Projektbewertungen	- 30 -
Tabelle 7: Beispiele LOD der LPH2	- 51 -
Tabelle 8: Beispiele LOD der LPH3	- 52 -
Tabelle 9: Beispiele LOD der LPH5	- 53 -

IV ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Ausgeschrieben
AG	Auftraggeber
AIA	Auftraggeberinformationsanforderungen
AIR	Asset Information Requirements
AN	Auftragnehmer
AwF	Anwendungsfälle nach BIM4INFRA2020
BSI-PAS	British Standard Institute – Publicly Available Specifications
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BIM	Building Information Modelling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CDE	Common Data Environment
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
HOAI	Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen
IFC	Industry Foundation Class
IDM	Information Delivery Manual
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LPH	Leistungsphase
L1	Leistungsniveau 1
NAV	Nutzen Aufwand Verhältnis
OKSTRA	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
OIR	Organisation Information Requirements
PIR	Projekt Information Requirements

1 EINLEITUNG

1.1. MOTIVATION

Wenig hat die Wirtschaft und Gesellschaft in den letzten Jahrzehnten so stark verändert wie die Digitalisierung. Es überrascht nicht, dass diese Entwicklung auch vor der Baubranche nicht Halt macht. Hatte doch mit Konrad Zuse ein Bauingenieur sogar die Grundlage für die Digitalisierung geschaffen. Zwar liegt die Baubranche verglichen mit anderen Industriezweigen bei der Verwendung digitaler Methoden und Werkzeuge zurück, jedoch werden die Potenziale immer mehr erkannt und genutzt. So gibt es mittlerweile eine Vielzahl an Softwarelösungen für diverse bauspezifische Problemstellungen.

Das Hauptaugenmerk der Digitalisierung im Bau liegt in den letzten Jahren auf der BIM-Methodik. Im Kern beschreibt diese die digitale Zusammenarbeit der verschiedenen Gewerke und Beteiligten in der Planung, Ausführung und dem Betrieb baulicher Projekte. In einigen Ländern ist die Nutzung des BIM bereits weit vorangeschritten. Beispielsweise ist die BIM-Methodik in Großbritannien vorgeschrieben (1) und entsprechend wurde der British Standard seit 2013 durch die BSI-PAS 1192-2 bis 1192-6 um BIM-spezifische Abschnitte ergänzt (2) (3) (4) (5) (6)). Als weiteres Beispiel möge Kuwait dienen, wo Großprojekte wie der Bau des neuen Flughafenterminals unter Anwendung der BIM-Methodik durchgeführt wurden (7).

Die Bundesrepublik Deutschland liegt in diesem Vergleich zurück. Für den Bereich des Infrastrukturwesens beschloss das BMVI eine Führungsrolle einzunehmen.

Seit dem Jahr 2015 befindet sich der „Stufenplan digitales Planen und Bauen“ in der Durchführung (8). Im Rahmen dieses Plans wurde die BIM-Methodik in mehreren Infrastrukturpilotprojekten angewendet und wissenschaftlich untersucht, welche Möglichkeiten und Vorteile die Methodik bietet. Gleichzeitig wurde auch analysiert, wo Regelungen getroffen und Rahmenbedingungen verbessert werden müssen. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden Standards und Handreichungen erarbeitet, welche die Einführung der BIM-Methodik im Infrastrukturbereich auf einem festgelegten Leistungsniveau ab dem Jahr 2020 ermöglichen sollten.

Um dies zu ermöglichen werden adäquate Softwarelösungen benötigt. Die Struktur der Modelle für die Infrastruktur ist eine andere als die für den Hochbau. Wurden im Zuge der Pilotprojekte noch Software des konstruktiven Maschinenbaus genutzt, gibt es mittlerweile diverse Softwarelösungen, die an die Bedürfnisse des Infrastrukturbaus angepasst wurden. Entsprechend dieser Ausgangslage müssen sich Planungsbüros und Auftraggeber von Infrastrukturprojekten in absehbarer Zeit mit dem Thema der BIM-Methodik und ihrer Anwendung vertraut machen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die BIM-Methodik in Zusammenarbeit mit der IPROconsult GmbH (im Weiteren: IPROconsult) auf ein konkretes Beispiel im

Infrastrukturbereich (speziell Brückenbau) anzuwenden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen unter anderem als Grundlage für die anstehende Entscheidung dienen, ob die IPROconsult die Software SOFiSTiK-Bridge Modeler als Plug-in für die bereits verwendete Lösung Autodesk Revit einführen wird.

1.2. METHODIK UND VORGEHEN DER ARBEIT

Im Zuge dieser Arbeit wird zunächst der Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ des BMVI untersucht.

Ein erster Schwerpunkt liegt auf den Pilotprojekten der Stufe 1, deren Zielsetzung, Verlauf und Ergebnisse im Hinblick auf die BIM-Methodik anhand wissenschaftlicher Berichte vorgestellt werden.

Im zweiten Schritt werden die Standardisierungsansätze erläutert, die aufgrund der Erkenntnisse der Pilotprojekte, in der Stufe 2 erarbeitet wurden. Hier werden vertragsrechtliche und leistungsspezifische Regelungen bzw. Vorschläge unter Einbezug der VDI 2552 und interner Arbeitsschritte der IPROconsult erläutert. Darüber hinaus werden die Beispielmuster der IFC Bridge erörtert.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren der IPROconsult ein konzeptioneller Vorschlag für die Fertigstellungsgrade der LPH 1-5 erarbeitet und an Beispielen veranschaulicht.

Dazu wurden im Rahmen einer Beauftragung der IPROconsult durch die Stadt Jena zwei Vorentwurfsvarianten als parametrische Modelle für eine einfeldrige Brücke erstellt. Es wurde die Funktionsweise der dabei verwendeten Software aufgearbeitet, insbesondere die des Revit-Plug-ins SOFiSTiK-Bridge Modeler. Mit Hilfe dieser Software-Lösung wurden für die verschiedenen Modelkomponenten parametrische Familien geschaffen und diese so konzipiert, dass sie möglichst vielfältig anpassbar sind und somit auch für zukünftige Projekte genutzt werden können.

Anhand dieser Modelle wurde eine simplifizierte BIM-gestützte Mengenermittlung und Kostenschätzung durchgeführt. Das angewandte Vorgehen wurde anschließend mit dem konventionellen Vorgehen verglichen.

Darüber hinaus wurde die konventionelle Erstellung von Plänen der Ableitung der Pläne aus dem 3D-Modell gegenübergestellt.

2 DIE BIM-METHODIK IN DER INFRASTRUKTUR

2.1. ÜBERSICHT EUROPÄISCHER BIM-NORMEN

Ausgangspunkt für diese Arbeit ist eine Übersicht Europäischer BIM-Normen und BIM-spezifische Richtlinien. Im Folgenden wird näher auf die Europäischen BIM-Normen und die Britischen Standards eingegangen.

Normen in Zuge der CEN TC442:

Tabelle 1: Übersicht der Normen nach CEN TC442

Normbezeichnung	Inhaltliche Aspekte
DIN EN ISO 12006-2	Klassifizierung der gebauten Umwelt: Konzeptionen, Aspekte, Struktur, Beispiele
DIN EN ISO 12006-3	EXPRESS-Spezifikation eines sprachunabhängigen Informationsmodells
DIN EN ISO 16739-1 (IFC)	Strukturelle Beschreibung des IFC, Begriffe
DIN EN ISO 16757-1	Katalogstrukturen, -Einflüsse, -Beispiele, Semantik
DIN EN ISO 16757-2	Geometrien, Darstellung, Detailierungsgrade, EXPRESS-Spezifikationen diverser Geometrien
DIN EN ISO 19650-1	Definition und Erläuterungen BIM-relevanter Begriffe
DIN EN ISO 19650-2	BIM für die Planungs-, Bauausführungs- und Inbetriebnahmephase: Struktureller Ablauf, BIM-Rollen, BIM-Aufgaben, Informationsanforderungen
DIN EN ISO 19650-3	BIM für das Gebäudemanagement: Begrifflichkeiten, OIR, BIM-Rollen, BIM-Aufgaben, Informationsanforderungen, Datenmanagement
DIN EN ISO 19650-5	BIM-Sicherheit: Sicherheitsaspekte und Risiken, BIM-Rollen, Erstellung von Sicherheitskonzepten und Strukturen
CEN/TR 17439	Leitfaden zur Implementierung von ISO 19650-1 und -2: u.a. EIR, AIA, BAP, CDE
DIN EN 17412	BIM-Definitionsgrade: LOG, LOI, Level of Documentation, definition des Level of Information Need (LION)
DIN EN ISO 21597-1	Struktur und Organisation digitaler Informationen als Container
DIN EN ISO 21597-2	Dynamische Semantik: Erweiterung der DIN EN ISO 21597-1 zur Erweiterung von Containern um Anwenderspezifische Schemata
DIN EN 23386	Merkmalsbeschreibung, -Erstellung, -Pflege, Datenkataloge und Datenkatalognetzwerke
DIN EN 23387	Datenvorlagen für Bauobjekte: Datenvorlagenstruktur (UML), Verknüpfung mit IFC, EXPRESS-Spezifikation von Datenvorlagen

British Standard

Nach: (2), (3), (4), (6), (9)

Tabelle 2: Übersicht des British Standard

Norm	Inhaltliche Aspekte
BSI-PAS 1192-2	BIM für die Planung und Bauausführung: EIR, AIA, BAP, CDE
BSI-PAS 1192-3	BIM für das Gebäudemanagement: Begrifflichkeiten, Prozessstrukturen, BIM-Rollen, CDE, Datenmanagement
BSI-PAS 1192-4	Leitfaden zur Nutzung von COBie
BSI-PAS 1192-5	BIM-Sicherheitsmanagement: Sicherheitsaspekte und Risiken, BIM-Rollen, Erstellung von Sicherheitskonzepten und Strukturen
BSI-PAS 1192-6	Nutzung und Schutz von Sicherheits- und Gesundheitsinformationen in BIM: Risikobewertung, Datenhaltung und -Teilung, Strategiekonzeption, Implementierung

Weitere ISO-Normen, nach: (10) und den entsprechenden Normen

Tabelle 3: Zusätzliche BIM-relevante Normen

Norm	Inhaltliche Aspekte
DIN EN ISO 29481-1 (IDM)	Bauwerksinformationsmodelle – Methodik und Format: IDM-Konzept, -Erstellung, -Prozessstrukturen, -Muster und -Vorlagen
ISO 29481-2 (IDM)	Bauwerksinformationsmodelle – Interaktionsframework: IDM-Komponenten, Interaktionsplan, Interaktionsframeworkstrukturen, EXPRESS Darstellung der Frameworkkomponenten

Richtlinien der VDI 2552, nach (11).

Tabelle 4: Richtlinien der VDI

Richtlinienblatt der VDI 2552	Inhaltliche Aspekte	Status
1	Grundlagen: Erläuterung der Methodik und Teilbereiche	Fertig
2	Begrifflichkeiten	Entwurf
3	Modellbasierte Mengenermittlung zur Kostenplanung, Terminplanung, Vergabe und Abrechnung: u.a. Zielsetzungen, Bauteiltypen, Fertigstellungsgrade, Regelungen	Fertig
4	Anforderungen an den Datenaustausch: Übergabe, IDM, BIM-Anwendungsfälle, Modellarten, -Inhalte, -Richtlinien	Fertig

5	Datenmanagement: CDE, BIM-Daten, Kooperative Bearbeitung, Technische Umsetzung	Fertig
6	Betrieb	Projekte
7	Prozesse: Anforderungen, Informationsaustausch, Rollen, Informationslieferungen	Fertig
8.1	Qualifikationen-Basiskenntnisse: Leitbild, Übersicht Basiskenntnisse	Fertig
8.2	Qualifikationen-Erweiterte Kenntnisse	Projekt
9	Klassifikationssysteme: Klassifikationssysteme inkl. Bestandteile, Verwendung, Austausch	Entwurf
10	AIA und BAP: Strukturen, Abläufe, Zielsetzungen	Fertig
11.1-11.7	Informationsaustauschanforderungen: Verschiedene Teilgebiete	Projekt

Handreichungen der BIM4INFRA und des BMVI

Tabelle 5: Handreichungen der BIM4INFRA2020

Handreichungen und Leitfäden Nummer	Inhaltliche Aspekte	Quelle
1	Grundlagen und BIM-Gesamtprozess:	(12)
2	Leitfaden und Muster für AIA: Zu berücksichtigende Aspekte, Leistungsbeschreibungen, Mustervorlagen	(13)
3	Leitfaden und Muster für BAP: Zu berücksichtigende Aspekte, Leistungsbeschreibungen, Ablaufbeschreibungen, Mustervorlagen	(14)
4	Leitfaden zur Leistungsbeschreibung: BIM-spezifische Vertragsanlagen, Musterstruktur der Leistungsbeschreibung	(15)
5	Muster Besonderer Vertragsbedingungen: BIM-spezifische Aspekte der Vertragsunterlagen	(16)
6	Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle: Übersicht, Erläuterung, Zuordnung zu den Leistungsphasen	(17)
7	Handreichungen BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad: Übersicht, Erläuterung, Musterbeschreibungen Ausarbeitungsgrade	(18)
8	Neutraler Datenaustausch im Überblick: Intention, Open BIM	(19)
9	Datenaustausch mit IFC: Erläuterung IFC, Spezifikationen für Revit und Nemetschek (stand 2018)	(20)

10	Technologien im BIM-Umfeld: Beispiele und zugehörige Datenformate (stand 2019), Ausschreibungsempfehlungen	(21)
----	--	------

2.2. STATE OF THE ART

Eine genaue Beschreibung des ‚State of the Art‘ bezüglich der Digitalisierung im Bauwesen ist ein nahezu unmögliches Unterfangen. Selbst wenn man sich dabei auf den Bereich der infrastrukturellen Projekte beschränkt, vereinfacht sich die gestellte Aufgabe nicht grundlegend. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass es keinen einheitlichen ‚State of the Art‘ gibt.

Momentan bestehen in Deutschland diverse Grade des Verständnisses und der Nutzung von BIM.

Die Positionen schwanken hier zwischen (oft kleineren) Betrieben, welche vollkommen konventionell arbeiten, und Unternehmen wie z.B. DB Netz AG, welche an diversen Pilotprojekten zur Anwendung der BIM-Methodik beteiligt waren und sich mit Fragen der computergestützten, automatisierten Modellprüfung auseinandersetzen.

Wie in den nachfolgenden Kapiteln aufgearbeitet wird, gibt es im Bereich der Infrastruktur von Seiten des BMVI und durch die BIM4INFRA2020 eine große Zahl an Projekten zur Förderung und Analyse der BIM-Methodik. Zusätzlich wurden viele Standardisierungen, Handreichung und Vorlagen erarbeitet und weitere sind in der Entwicklung. Dennoch herrscht in der Praxis teilweise ein geringes Verständnis vor und eine entsprechend geringe Nutzung der Technologie.

Mit OKSTRA liegt ein Datenaustauschniveau vor, das übergangsweise genutzt werden kann, bis der IFC Standard als ISO Standard auch für den Infrastrukturbereich erweitert wird: Ein Prozess, der wie in dieser Arbeit noch zu sehen sein wird, im vollen Gange ist.

Insgesamt wird die Bedeutung der BIM-Methodik, auch wegen geplanter rechtlicher Vorgaben, im Bereich des Infrastrukturwesens deutlich zunehmen. Unter anderem wurde von Seiten des BMVI eigens für die Einführung der BIM-Methodik ein Plan erarbeitet (8). Entsprechend ist die Einführung der BIM-Methodik in dem meisten Betrieben für diesen Bereich zeitnah erforderlich.

2.3. LEISTUNGSNIVEAU 1

Das Leistungsniveau 1 (L1) beschreibt die Mindestanforderungen, die seit 2017 in allen weiteren BIM-gestützten Pilotprojekten und ab 2020 bei allen neu zu planenden Infrastrukturprojekten erfüllt werden müssen.

Essenzielle Punkte des L1 umfassen:

- BIM ist als Planungsinstrument in Verträge aufzunehmen.
- Verträge sind inklusive einer AIA auszuführen. In dieser sind sämtliche Regelungen bezüglich der vom Auftraggeber geforderten Daten sowie die Zugriffsmöglichkeiten und Zugriffszeitpunkte des Auftraggebers zu regeln. Die Handreichungen der BIM4INFRA2020 bezeichnen die AIA vereinfachend als „Was“.
- Der Ablauf der Projektausführung sowie die verschiedenen Rollen und Strukturen werden in einem BAP geregelt. Dieser ist als dynamischer Plan zu verstehen, der sich an die Entwicklung des Projektes anpasst. In den Handreichungen der BIM4INFRA2020 wird der BAP vereinfachend als „Wie“ bezeichnet.
- Alle Leistungen sind in digitaler Form abzuliefern. Ausgangsbasis des L1 ist das 3D-Modell. Sofern 2D-Pläne benötigt werden, sind diese vom 3D-Modell abzuleiten. Bei Bedarf benötigte Fachmodelle sind zu koordinieren und in einem Gesamtmodell zusammenzuführen. Hierfür ist eine gemeinsame Datenumgebung zu nutzen.
- Auf Seiten der Auftraggeber soll auf eine herstellerneutrale Ausschreibung der Datenaustauschformate geachtet werden.

(8).

2.4. STUFENPLAN DIGITALES PLANEN UND BAUEN

Im Zuge der Digitalisierung des Bauingenieurwesens entwickelte das BMVI in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus der Wissenschaft und der Baubranche den Dreistufenplan zur Einführung des BIM im Infrastrukturbereich. Dabei einigten sich die beteiligten Parteien auf das Ziel, BIM ab dem Jahr 2020 auf das L1 in der Planung und beim Bau von Infrastrukturprojekten einzuführen. Der Dreistufenplan beschreibt die „Roadmap“ zum Erreichen dieses Ziels.

Zur Vorbereitung des Plans wurde in mehreren Workshops eine gemeinsame Definition des Begriffes BIM erarbeitet (22):

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten

Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“

Gemäß des Dreistufenplans soll das BIM im Infrastrukturbereich stufenweise implementiert werden (wie Abbildung 1 in veranschaulicht wird):

- Stufe 1: Förderung und wissenschaftliche Betreuung von Pilotprojekten ab 2015 (siehe Anhang ‚Pilotprojekte‘)
- Stufe 2: Ab 2017 Durchführung mehrerer Projekte auf L1, um die BIM-Methodik weiter zu verbreiten.
- Stufe 3: Ab Ende 2020 soll BIM in allen neuen Infrastrukturprojekten auf L1 genutzt werden.

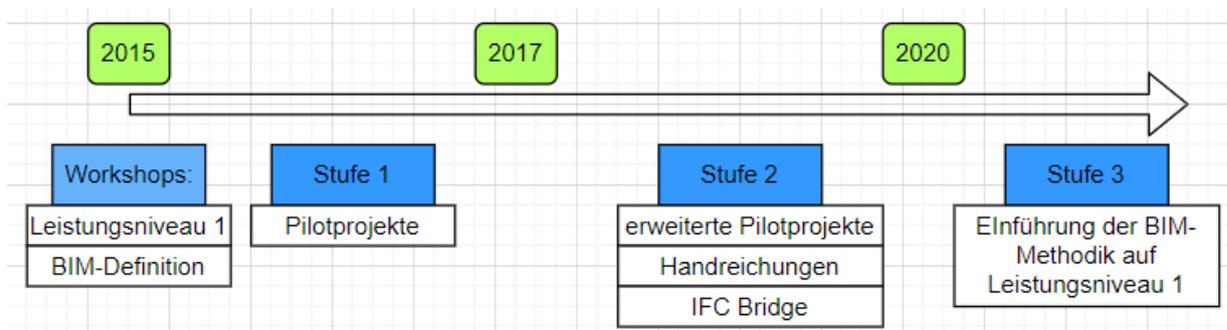


Abbildung 1: Zeitstrahl des Dreistufenplans (eigene Darstellung)

Im Zuge der Stufe 1 wurden bis Ende des Jahres 2017 Fördergelder in Höhe von 3,8 Millionen Euro ausgezahlt. Die Resultate und Zwischenstände der einzelnen Phasen werden im Nachfolgenden beschrieben.

2.4.1. STUFE 1: PILOTPROJEKTE

In der ersten Stufe wurden seit 2015 vier Projekte mit verschiedenen Zielsetzungen gefördert und wissenschaftlich betreut. Für jedes der Projekte wurde vom BMVI ein Endbericht veröffentlicht. Entsprechend dieser Berichte werden die Projekte im Nachfolgenden beschrieben.

In jedem der Projekte wurden eigens festgelegte Aspekte der Anwendungen des BIM untersucht und die Umsetzung hinsichtlich der folgenden im L1 beschriebenen Kategorien bewertet:

- die AIA
- der BAP
- die Verträge
- die Technologie
- das BIM-Team

- die Leistungsphasen (Unterteilung in 2+3, 4+5, 6+7; Projekte 2-4)
- die Ausführung (nur im Pilotprojekt 1+2 untersucht)

Diese Kategorien wiederum wurden in Unterkategorien aufgefächert, auf deren Ebene eine Bewertung stattfand. Die Bewertung in einer Kategorie ergab sich als gewichtetes Mittel aus den zugehörigen Unterkategorien. Die verwendete Skala umfasste sechs Werte von 0 (nicht vorhanden) bis 5 (optimal umgesetzt).

Die zusammenfassende Gesamtbewertung eines Projektes wird als Reifegrad bezeichnet. Die Bewertungen erfolgen anhand der Kriterien wissenschaftlichen Betreuung (23).

Bezüglich der AIA wurden zwei Unterkategorien untersucht:

- Welche Anforderungen wurden von der AG-Seite formuliert?
- Wie wurden diese dokumentiert?

Für die Bewertung des BAP wurden die folgenden Fragestellungen herangezogen:

- War ein BAP vorhanden und wie verbindlich war er?
- Wurden BIM-Ziele definiert?
- Wurden AwF definiert und festgehalten?
- Gab es technische sowie organisatorische Festlegungen?
- Wurde der BIM-Workflow beschrieben? Wie präzise war die Beschreibung?

Kriterien hinsichtlich der Verträge waren:

- Mit welchen Beteiligten und in welchem Umfang wurden Vereinbarungen bzgl. BIM-Leistungen getroffen?
- Welche Abreden gab es über zu erbringende Dienstleistungen?
- Enthielten die Verträge BIM-spezifische Regelungen?
- Wurden vertragliche Abreden zur Planung getroffen?
- Wurden vertragliche Vereinbarungen zur Ausschreibung getroffen?
- Wurden vertragliche Regelungen zur Ausführung und Objektüberwachung getroffen?

Bei den letzten beiden Punkten ist zu beachten, dass sämtliche Projekte ausgeschrieben worden waren, bevor die Phase 1 beschlossen und mit ihrer Umsetzung begonnen wurde. Entsprechend sind diese beiden Unterkategorien in jedem Projekt mit 0 bewertet. Auch wurden in einem Projekt stets nur bestimmte Leistungsphasen ausgeführt. In keinem Projekt wurden sowohl Vorplanung als auch Ausführung betrachtet. Dementsprechend liegen nie zu allen der letzten drei Kriterien Vertragsabsprachen vor. *(Es stellt sich die Frage, in welchem Umfang die Bewertungen dadurch verfälscht wurden und ob nicht ein schlechteres Bild gezeichnet wurde als es der Realität entsprach).*

Um dies zu berücksichtigen, wurde, im Rahmen dieser Arbeit, für jedes Pilotprojekte auch eine um diese Kriterien „bereinigte“ Bewertung angegeben.

Für die Bewertung der Technologie wurden die nachfolgenden Merkmale untersucht:

- Wurde ein CDE genutzt? Welche Features wurden von der CDE unterstützt? Welche Qualität wies die CDE auf?
- Welche Datenaustauschformate waren vorhanden, welche wurden genutzt? Handelte es sich um offene oder proprietäre Datenaustauschformate?
- Erfüllte die eingesetzte Software die Anforderungen an die Projektbearbeitung?
- Erfüllte die eingesetzte Hardware die Anforderungen an die Projektbearbeitung?

Die BIM-Teams wurden nach folgenden Gesichtspunkten bewertet:

- Wurden BIM-spezifische Rollen definiert und zugewiesen?
- Wie umfangreich war das vorhandene BIM-Wissen, wie groß die Erfahrung der Beteiligten mit der Modellerstellung, der Modellkoordination und Modellprüfung in BIM? Wurden die Beteiligten im Umgang mit BIM-Modellen geschult?

Bezüglich der Leistungsphasen (LPH) wurden nicht immer die gleichen Aspekte geprüft, da jede LPH eigene Anforderungen hat. Jedoch wurden in den Projekten 2-4 die folgenden betrachtet:

- Wurde die (Werk-)Planung in 3D durchgeführt? Wie detailliert erfolgte dies?
- Wurde die Koordination der verschiedenen Fachplanungen BIM-gestützt durchgeführt?
- Wurden die Pläne aus dem Modell abgeleitet oder gesondert gezeichnet?
- Wurden die im BAP definierten LOD umgesetzt?
- Wurde ein Klassifikationssystem verwendet?
- Wurde eine bauteilspezifische Attribuierung durchgeführt? Wurde diese geprüft?
- Erfolgte eine Prüfung hinsichtlich der vereinbarten LOD?
- Erfolgte eine Prüfung hinsichtlich fachlicher Vorgaben (z.B. Brandschutz, Barrierefreiheit, etc.)?
- Wurde eine modellgestützte Kostenschätzung durchgeführt?
- Wurde das Modell mit dem Bauzeitenplan verknüpft?
- Welche Fachplanungen wurden umgesetzt?
- Wurde eine BIM-gestützte Tragwerksplanung durchgeführt?

Auf die phasenspezifischen Aspekte aus Projekt 3 wird in den jeweiligen Projekten eingegangen.

Die Ausführung wurde in den Projekten 1+2 unter folgenden Gesichtspunkten betrachtet:

- Wie wurde das Mängelmanagement durchgeführt?
- Wie wurde der wirklich gebaute Zustand dokumentiert?
- Welche Informationen wurden im Rahmen von Baubesprechungen verwendet? Wie wurden Ergebnisse dokumentiert?
- Wie wurde der Baufortschritt erfasst und dokumentiert?

- Wie erfolgte der Vergleich zwischen der Soll-Planung und dem Ist-Zustand?
- Wie erfolgte die Abrechnung?
- Wurde das Modell mit dem Bauzeitenplan verknüpft

2.4.1.1 Pilotprojekt 1: Brücke über den Petersdorfer See

Grundlage des nachfolgenden Kapitels ist der Endbericht der Wissenschaftlichen Betreuung (24).



Abbildung 2: Model Petersdorfer Brücke nach (24)

Bei dem Projekt handelt es sich um den Ersatzneubau einer Brücke über den Petersdorfer See sowie den Umbau der Anschlussstelle Waren, einschließlich einer die Autobahn querenden Brücke. Das Projekt ist Teil der A19 zwischen Berlin und Rostock.

Die Brücke hat eine Gesamtlänge von 264 m und besteht aus 2 getrennten Überbauten, einer je Fahrtrichtung.

Begonnen wurden die Ausführungsarbeiten im Juni 2015. Aufgrund von Schwierigkeiten bei den Baugrundverhältnissen ist ein Ende der Bauarbeiten erst zu Beginn des Jahres 2021 zu erwarten - statt wie vorgesehen im Juni 2017 (25). Die beiden Brückenhälften wurden nacheinander abgerissen. Im Laufe des Jahres 2018 wurde die westliche

Teilbrücke fertiggestellt. Ob die ursprünglichen kalkulierten Kosten von 62 Millionen Euro eingehalten werden können, ist noch „unbekannt“.

Eines der wichtigsten Ziele des Projektes war es, die Behinderung des Verkehrs durch die Baustelle so gering wie möglich zu halten, da die A19 von zentraler Bedeutung für die Verbindung zwischen Berlin und Rostock ist.

Auch wenn nicht verhindert werden konnte, dass die Autobahn temporär auf zwei Fahrstreifen verengt werden musste, so ist die Verkehrslage seit der Fertigstellung der westlichen Teilbrücke dennoch entspannter.

In diesem Projekt fokussierte sich die Nutzung der BIM-Methodik und die wissenschaftliche Betreuung der Ausführungsphase. Sämtliche vorangegangene LPHs waren in konventioneller Weise durchgeführt worden. Auch während der Bauausführung war die BIM-Leistung nur begleitend und hatte somit weder Relevanz für die Planung noch Einfluss auf den Bauausführung. Die BIM-Methodik diente lediglich zur nachträglichen Plausibilitätskontrolle.

Im Vordergrund stand die 3D- und 4D-Modellierung des Infrastrukturprojektes, wobei die verschiedenen Bauphasen und auch die temporären Verkehrsleitungen integriert wurden.

BIM Ziele

Zentrales Ziel dieses Pilotprojektes war das Sammeln erster Erfahrungen mit der BIM-Methodik. Der Fokus lag dabei auf der Visualisierung des Ist- und des Soll-Zustandes der Bauwerke, der Verkehrsanlagen und des Umfelds. Die bauzeitliche Visualisierung der Bauzustände mit Darstellung der Terminabhängigkeiten und der Simulation der Verkehrsführung war ein weiteres Anliegen.

Darüber hinaus wurde die modellgestützte Mengen- und Kostenermittlung gewählt, um die Ergebnisse der konventionellen Methodik zu validieren.

Zu erstellende Modelle waren:

- Bestandsmodelle
 - Brücke Petersdorfer See (BW 15)
 - Brücke AS Waren (BW 14-Ü2)
 - Verkehrsanlage inklusive Erdbauten (freie Strecke)
 - Verkehrsanlage inkl. Erdbauten (Anschlussstelle)
- Erstellung eines Neubaumodells
 - Brücke Petersdorfer See
 - Temporäre Behelfsbrücke AS Waren
 - Brücke AS Waren (Müritz) (BW 14-Ü2)
 - Verkehrsanlage inkl. Erdbauten (freie Strecke)
 - Verkehrsanlage inkl. Erdbauten (Anschlussstelle)

AIA (Bewertung: 1,00 Punkte)

Es wurden keine AIA ausgearbeitet. Die beabsichtigten BIM-Anwendungen und die zugehörigen Anforderungen wurden informell in einem Vertrag festgelegt.

BAP (Bewertung: 1,83 Punkte)

Es wurde kein formaler BAP ausgearbeitet (0 Punkte). Es gab informelle Absprachen zwischen AG und AN bezüglich der Vorgehensweise sowie regelmäßige Präsentationen der Zwischenstände der Modelle. Auch wurden die BIM-Ziele abgeklärt (2 Punkte) (siehe oben). In den Verträgen wurden explizit die BIM-Anwendungsfälle „Visualisierung“, „4D-Animation“ und „Mengenermittlung“ benannt (3 Punkte). Bezüglich der Software und den Datenaustauschformaten, sowie der Attribuierung gab es Festlegungen von Seiten des AG (3 Punkte).

Da nur ein Partner an der Erstellung und Nutzung der BIM-Leistungen beteiligt war, wurden keine Koordinationsprozesse oder Datenaustauschpunkte festgehalten (0 Punkte). Es gab jedoch einen Zeitplan zur Erstellung der Modelle (3 Punkte).

Verträge (0,67 Punkte bzw. bereinigt 1,00 Punkte)

Da die BIM-Methodik in diesem Projekt nicht vertraglich eingefordert wurde - insbesondere aufgrund der mangelnden Relevanz des BIM für das Projekt selbst - gab es keine konkreten vertraglichen BIM-spezifischen Regelungen (0 Punkte).

Wie oben beschrieben wurden die letzten beiden Unterkriterien (Absprachen zur Ausschreibung und Überwachung) mit 0 Punkten bewertet, da die Ausschreibung und Vergabe des Projektes vor der Verabschiedung des Dreistufenplans stattgefunden hatten.

Technologie (4,00 Punkte)

Das Projekt war gekennzeichnet durch ein Zusammenspiel diverser Software-Lösungen (smattrass, ScetchUp Pro, EPLASS, etc.). Obwohl es eines der erklärten Ziele des L1 ist, dass sämtliche 2D-Pläne von 3D/4D/5D-Modellen abgeleitet werden, wurden die 3D/4D/5D-Modelle in diesem Fall aus den konventionell erstellten 2D-Plänen sowie Vermessungsdaten erstellt.

Die Modelle wurden in einer relationalen Datenbank (3 Punkte) abgelegt. Anstelle von OKSTRA wurde das standardisierte Datenaustauschformat DAE/COLLADA zum Austausch der Geometriedaten verwendet (4 Punkte).

Wichtig für die Wahl der Software war die Unterstützung der Georeferenzierung sowie die Option zur Erstellung parametrischer Geometrien. Die Modellierung, inklusive einer

Verknüpfung mit einem Planungsmanagementsystem, war softwaretechnisch gut abbildbar. Technische Probleme entstanden lediglich bei der Übertragung von großen Datenmengen (4 Punkte).

Hardwaretechnisch gab es keinerlei Mängel (5 Punkte).

BIM-Team (1,40 Punkte)

Das Team bestand auf AG-Seite aus dem Projektleiter sowie auf AN-Seite aus zwei Mitarbeitern.

Mangels eines formalen BAP gab es keine formalen Rollen und Strukturen, so dass diese sich aus den vertraglichen Anwendungsfällen ergaben (2 Punkte). Entsprechend der vorgegebenen BIM-Ziele lagen die Aufgaben im Wesentlichen in der BIM-Modellierung, was von der Seite des AN geleistet wurde. Generell war BIM-spezifische Expertise vorhanden, bezüglich der semantischen Informationen war es nur eingeschränkt verfügbar (3 Punkte).

Sowohl die Koordination des Modells (1 Punkt) als auch die Modellprüfung (1 Punkt) waren aufgrund der einfachen Projektstruktur und der mangelnden Relevanz für Planung und Ausführung von untergeordneter Bedeutung.

Die Beteiligten wurden nicht im Umgang mit BIM geschult (0 Punkte).

Ausführungsphasen LPH 8 (0,57 Punkte)

Im Bereich der Verkehrsanlage und der Bestandmodelle erfolgte die 3D-Modellierung anhand der gegebenen Unterlagen mit geringem Aufwand, unter anderem, da die Bestandsmodelle durch einen hohen Standardisierungsgrad charakterisiert waren. Der realisierte LOD war bezüglich eines 4D-Modells potenziell sogar zu groß.

Bei der Modellierung der Neubauten anhand der Unterlagen ergaben sich verschiedene Probleme. Die Ursachen waren die hohe Komplexität der Konstruktionen, die Überlagerungen von Bauteilen sowie mangelnde Informationen bezüglich mehrachsig gekrümmter Bauteile.

Auch musste das Modell im Vergleich zur Realität vereinfacht modelliert werden. Beispielsweise wäre es sonst deutlich zu komplex geworden, die materialoptimierenden variierenden Stahldicken zu modellieren.

Das Modell wurde mit einem Bauausführungsplan zu einem 4D-Modell verknüpft (3 Punkte) und anschließend um ein vereinfachtes Leistungsverzeichnis erweitert, um eine Abrechnung durchzuführen. Der Vergleich mit der konventionellen Abrechnung ergab eine Abweichung von bis zu 10% (1 Punkt).

Es wurden weder ein Mängelmanagement implementiert noch ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt, auch nicht, um die Genauigkeit des Modells zu prüfen (0 Punkte).

Zusammenfassung

Wird das Projekt aus einer Gesamtheit betrachtet, so folgt der Schluss, dass die Potenziale des BIM in diesem Projekt kaum genutzt wurden. Weder hatte das Modell für das Bauprojekt als solches irgendeine Relevanz, noch wurde es genutzt, um Zwischenstände und Ziele zu prüfen (Soll-Ist-Vergleich).

Auch konnten in den Bereichen Modellkoordinierung und -management keine wirklichen Erfahrungen gesammelt werden. Lediglich die Technologie zeigte sich den Anforderungen und Zielen des BIM (und des L1) gewachsen.

Dennoch wurden laut dem Abschlussbericht der wissenschaftlichen Betreuung anhand des Projektes Potenziale für die BIM-Methodik erkannt. Diese betrafen die Bereiche der Mengenermittlungen, Bauablaufplanung, Kommunikation und Transparenz.

Auch wenn die Pilotprojekte im Abschnitt 2.3.1.5 noch detailliert verglichen werden, so ist hier schon festzuhalten, dass das Pilotprojekt der Brücke über den Petersdorfer See hinsichtlich Nutzen und Qualität durchaus kritisch betrachtet werden kann. Dies gilt insbesondere, wenn man den Vergleich mit den nachfolgenden Pilotprojekten zieht. Es erwies sich als nicht zielführend, dass hier lediglich ein BIM-Modell erstellt und eine simplifizierte Mengenermittlung durchgeführt wurde. Vor allem die Tatsache, dass kein Ist-Soll-Vergleich durchgeführt wurde, obwohl ein 5D-Modell erstellt worden war, erscheint fragwürdig.

Stellt man dieses Projekt den anderen Pilotprojekten gegenüber, so wird deutlich, dass viele Potenziale des BIM ungenutzt blieben bzw. nicht angedacht wurden.

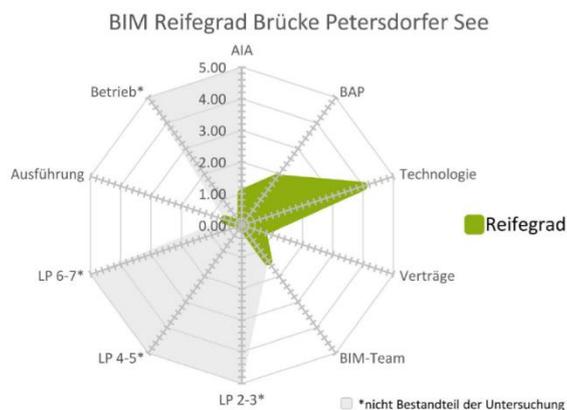


Abbildung 3: Reifegrad der Brücke über den Petersdorfer See nach (24)

2.4.1.2 Pilotprojekt 2: Eisenbahnüberführung Filstal

Grundlage des nachfolgenden Kapitels ist der Endbericht der wissenschaftlichen Betreuung (26).



Abbildung 4: Filstalbrücke nach (27) und (28)

Bei der Eisenbahnüberführung Filstal handelt es sich um eine Verbindungsbrücke zweier Tunnelabschnitte der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm.

Das Projekt besteht aus zwei eingleisigen Brücken mit 485 m bzw. 472 m Länge und einer Maximalhöhe von 85 m, womit sie die dritthöchsten Eisenbahnbrücken Deutschlands sein werden.

Die ursprünglich kalkulierten Kosten lagen bei ca. 53 Millionen €. Die planmäßige Eröffnung ist für das Jahr 2022 vorgesehen, wobei bereits mit einer Verzögerung zu rechnen ist (Stuttgarter Nachrichten 30.01.2020). Das Projekt wurde unter Beteiligung von SSF Ingenieure AG, Deutsche Bahn AG und Max Bögl GmbH durchgeführt.

Schwerpunkt des Projektes war die BIM-gestützte Bauausführung sowie der Versuch der BIM-gestützten Mängelerkennung. Letztere scheiterte jedoch an organisatorischen Schwierigkeiten.

Entsprechend lag das Hauptaugenmerk während des Projekts auf der Erstellung eines 4D-Modells und den Anwendungsfällen der Bauausführung.

BIM-Ziele

Neben dem in allen Pilotprojekten angestrebten Ziel, Erfahrungen im praktischen Umgang mit BIM zu gewinnen, stand bei der Filstalüberführung im Fokus, die Planungs- und Ausführungssicherheit zu erhöhen. Dies erfolgte unter anderem durch Plausibilitätskontrollen und Vergleiche der konventionell erstellten Pläne und Kalkulationen mit den BIM-gestützten Konterparts sowie der Erstellung und Pflege eines 4D-Modells, in welchem aktuelle Baustände und Probleme stichtagsgenau eingearbeitet wurden.

Zusätzlich wurden Aspekte der Ausführung wie z.B. die Schalungsplanung aus dem 4D-Modell abgeleitet.

Die folgenden BIM-Leistungen waren zu erbringen:

- 4D-Bauablauf Simulation und Statusmeldung:
 - Erstellung eines aktuellen 4D-Bauablaufplans auf der Basis des vorhandenen 3D-Modells und des Bauzeitenplans

- Darstellung des Bauwerkes sowie von Bauabschnitten, Hilfsgerüsten, Baugruben, etc.
- Bereitstellung des 4D-Bauablaufplanes und der Projektstatusmeldung über ein mobil verfügbares Modell direkt auf der Baustelle
- Durchführung einer BIM gestützten Abrechnung und Plausibilitätskontrolle:
 - Berechnung von pauschalen Teillosten und Einheitspreis-Teillosten mit BIM und konventionell
 - Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren
- Anbindung einer bereits im Bahnprojekt Stuttgart-Ulm eingeführten Planmanagement-Plattform EPLASS an BIM-Anwendungen

AIA (Bewertung: 1,00 Punkte)

Da die BIM-Unterstützung des Bauvorhabens erst nachträglich erfolgte, gab es für die Ausschreibung und die Verträge keine AIA. Die Anforderungen wurden später informell festgehalten (1 Punkt).

BAP (Bewertung: 3,17 Punkte)

Im Zuge des Projektes wurde von Seiten des AG ein BAP erstellt. Dieser wurde im Laufe des Projektes fortgeschrieben und zu festen Zeiten mit dem AN neu bewertet und aktualisiert (2 Punkte). Im aufgestellten BAP sind die BIM-Ziele inklusive eines Zeitplans klar definiert (3 Punkte). Anhand der BIM-Ziele wurden die AwF zur Erreichung der entsprechenden Ziele bezogen auf die LPHs aufgeführt und detailliert beschrieben (5 Punkte). Bezüglich des LOD und den Datenaustauschformaten wurden klare Vorgaben gesetzt (3 Punkte). Durch die terminlichen Festlegungen und die gesetzten Randbedingungen inklusive eines neutralen Cloudspeicherdienstes waren detaillierte organisatorische Regelungen gegeben (5 Punkte). Der BIM-Workflow wurde lediglich informell und grob beschrieben (1 Punkt).

Verträge (Bewertung: 0,67 Punkte bzw. bereinigt 1,00 Punkte)

Wie bereits beschrieben gilt auch für dieses Projekt, dass die BIM-Leistungen nachträglich vereinbart wurden. Daher sind die BIM-Leistungen nicht maßgebend, sondern unterstützend.

Die BIM-Leistungen wurden mit einem externen Anbieter vereinbart und dienten zur Plausibilitätskontrolle und Visualisierung (1 Punkt, 1 Punkt). Fragen zur Detailierung und zum Datenschutz wurden in den Vertragsunterlagen und im BAP geregelt (2 Punkte).

Da der Einsatz der BIM-Methodik sich in diesem Projekt auf die Bauausführung beschränkte, wurden keine Regelungen bezüglich der Planung getroffen (0 Punkte). Aus

bereits genannten Gründen wurden weder für die Ausschreibung noch für die Objektüberwachung Regelungen bezüglich BIM getroffen (0 Punkte, 0 Punkte).

Technologie (Bewertung: 3,75 Punkte)

Das Projekt war gekennzeichnet durch ein Zusammenspiel diverser Software-Lösungen (Siemens NX, RIB Stratis, Peri CAD, Autodesk BIM360, EPLASS, ceapoint desite CUSTOM etc.).

Die Datenhaltung erfolgte als Zusammenspiel von Autodesk BIM360, ceapoint desite CUSTOM und einer neutralen Datenbank sowie einer Dokumentation durch EPLASS (3 Punkte).

Es wurden mehrere Austauschformate verwendet, um Daten zwischen den eingesetzten Softwarelösungen zu transferieren (unter anderem REB, LandXML, CPIXML) (3 Punkte).

Die verwendete Softwarelandschaft war den Anforderungen des Projektes weitestgehend gewachsen. Schwierigkeiten ergaben sich bei der Abrechnung und Visualisierung in iTWO und bei der Mängelerfassung mittels Tablets (4 Punkte).

Bezüglich der Hardware traten keine nennenswerten Probleme auf (5 Punkte).

BIM-Team (Bewertung: 2,40 Punkte)

Das BIM-Team bestand aus Vertretern des AG und AN. Für beide Seiten wurden die Rollen des BIM-Managements, der BIM-Nutzung und BIM-Unterstützung vergeben sowie auf Seiten des AN zusätzlich die Rolle der BIM-Koordinierung. Es stellte sich im Laufe des Projekts heraus, dass die Rollen nicht klar genug definiert waren (2 Punkte).

Im Bereich der Modellerstellung stand ausreichend Wissen zur Verfügung (3 Punkte).

Bezüglich der Modellkoordinierung (2 Punkte) und Modellprüfung (1 Punkt) war das Wissen hingegen eher rudimentär.

Um eine gute Zusammenarbeit sicherzustellen wurden gemeinsame Workshops und Schulungen durchgeführt (4 Punkte).

Planungsphasen (Bewertung: 1,92 Punkte)

Die BIM-Unterstützung des Projektes erfolgte zwar für die Bauausführung, jedoch wurde das 4D-Modell in einem hohen LOG auf Ausführungsplanungsniveau erstellt und entsprechend für die LPH 5 bewertet.

Das Modell wurde weitestgehend in 3D modelliert. Unter anderem erlaubte die verwendete Software jedoch keine Modellierung der Bewehrung. Entsprechend musste diese als 2D-Bewehrungsplan angefügt werden (3 Punkte).

Die wenigen Beteiligten fügten die Teilmodelle selten zusammen (2 Punkte).

Die 2D-Pläne wurde aus dem 3D-Modell abgeleitet und bei Bedarf in 2D verfeinert. Insbesondere für die Schalungsplanung war das 3D-Modell maßgebend (4 Punkte).

Das LOD wurde nur für ausgewählte Elemente im BAP definiert und entsprechend umgesetzt (2 Punkte).

Da noch keine BIM-Klassifikation für das Infrastrukturwesen und Ingenieurbauwerke existierte, musste auf eine projektspezifische Klassifikation zurückgegriffen werden. Die bauteilspezifische Attribuierung wurde nur in sehr geringem Umfang durchgeführt (1 Punkt) und das Modell wurde nicht bezüglich seines LOD geprüft (0 Punkte). Es erfolgte lediglich eine visuelle Prüfung fachlicher Vorgaben (2 Punkte).

Das Modell wurde für die Ausführung erstellt und es wurde ein Vergleich zwischen konventioneller und BIM-gestützter Abrechnung durchgeführt. Jedoch erfolgte keine Kostenschätzung des Modells im Sinne der LPH5 (0 Punkte). Die Bewertung dieses Kriteriums durch die wissenschaftliche Betreuung ist kritisch zu sehen, da das Modell für diese Aufgabe nicht gedacht war.

Die Verknüpfung des 3D-Modells mit dem Bauzeitenplan wurde effizient gestaltet (4 Punkte). Die Fachplanung erfolgt zumindest für die Schalplanung (2 Punkte), des Weiteren wurde aber keine modellgestützte Tagwerksplanung durchgeführt (0 Punkte).

Ausführungsphasen (LPH 8) (Bewertung: 2,29 Punkte)

Ziel des Projektes war eine starke Einbindung des Modells in den Bauprozess. Hierfür wurde es unter anderem mobil erreichbar und wurde regelmäßig mit aktuellen Informationen angereichert und aktualisiert. Auch wurden regelmäßig Soll-Ist-Abgleiche durchgeführt. Aufgrund organisatorischer Bedingungen konnte die Anreicherung des Modells mit zusätzlichen Informationen wie Bildern und Checklisten über mobile Endgeräte nur eingeschränkt erfolgen.

Auch konnten die auf der Baustelle digital erstellten Formulare nicht direkt genutzt werden, sondern mussten erst neu formatiert werden, um rechtlichen Anforderungen zu genügen.

Die Erfassung von Mängeln erfolgte konventionell und wurde manuell zugeordnet (2 Punkte). Der Ist-Zustand wurde nur qualitativ dokumentiert (0 Punkte). In Besprechungen wurde das 3D-Modell verwendet und Ergebnisse in separaten Protokollen dokumentiert (2 Punkte). Der Baufortschritt wurde manuell erfasst (1 Punkt) und Abweichungen von Sollzustand modellbasiert dargestellt (4 Punkte). Die BIM-basierte Abrechnung erfolgte über den Prozessen zugewiesene Pauschalbeträge und Mengenermittlungen. Hierbei ergaben sich jedoch aufgrund von Komplikationen mit dem projektspezifischen Datenaustauschformat Probleme in der Abrechnung (2 Punkte). Wie bereits bei der LPH 5 erwähnt, wurde das Modell mit dem Bauzeitenplan verknüpft (4 Punkte).

Zusammenfassung

Insgesamt ist das Pilotprojekt positiv zu bewerten. Bezüglich der LPH 5 und LPH 8 wurde ein großes Spektrum an möglicher Integration der BIM-Methodik in die Planungs- und Kontrollprozesse geprüft.

Positiv hervorzuheben sind der hohe Detailgrad des Modells inklusive der qualitativen Einarbeitung von Mängeln und einer ausführlichen Darstellung der Abweichungen des Soll- vom Ist-Zustand.

Des Weiteren ist hervorzuheben, dass das Modell bezüglich mancher Planungsprozesse eine führende Rolle gegenüber den herkömmlichen 2D Zeichnungen einnahm.

Bezüglich der vertraglichen Aspekte zeigt sich ein großes, noch ungenutztes Potenzial, insbesondere bezüglich der AIA.

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten bieten sich auch bei der Mängelermittlung. Diese fand größtenteils noch konventionell statt. Auch die Problematik bei der Formatierung von digital erstellten Formularen sollte ein lösbares Problem sein.

Insgesamt zeichnen die Resultate jedoch ein positives Bild für die Nutzung der BIM-Methodik und der Versuch der aktiven Integration des Modells in die Baustelle muss lobend hervorgehoben werden.

Der Reifegrad des Projektes wird in Abbildung 5 dargestellt.

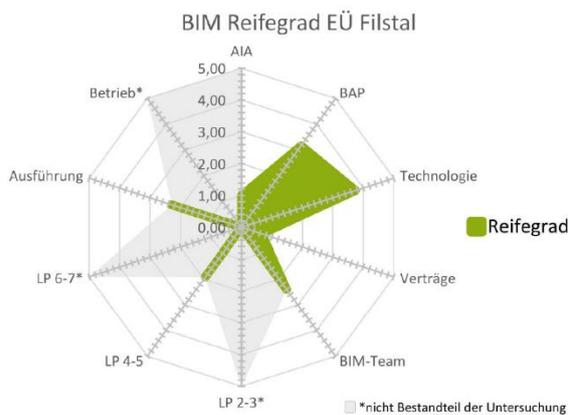


Abbildung 5: Reifegrad Pilotprojekt EÜ Filstal nach (26)

2.4.1.3 Pilotprojekt 3: Talbrücke Auenbach

Grundlage des nachfolgenden Kapitels ist der Endbericht der wissenschaftlichen Betreuung (29).



Abbildung 6: Talbrücke Auenbach nach (29)

Die Talbrücke Auenbach ist Teil des Neubaus der B107 Südverbund Chemnitz. Im Zuge dieses Projektes sind mehrere Brücken zu planen und herzustellen, wobei die Talbrücke Auenbach die größte ist. Die Überführung wurde, um die Stützlänge, insbesondere aber die baubedingten Sperrzeiten der Strecke zu reduzieren, in zwei separaten Bauwerken von 32,25 m und 143,75 m Länge geplant. Ursprünglich war ein Bauwerk mit 273 m Länge geplant.

Die Planung begann 2014. Momentan befindet sich die Brücke kurz vor dem Feststellungsbeschluss (nach einem Telefonat mit dem Stadtplanungsamt Chemnitz).

In diesem Pilotprojekt stand die LPH 2 im Vordergrund. Hierbei wurde das BIM-gestützte Vorgehen mit dem konventionellen Vorgehen verglichen.

BIM-Ziele

Ziel des Pilotprojektes war die Durchführung einer BIM-gestützten LPH 2. Die Schwerpunkte lagen auf den Anwendungsfällen

- Variantenuntersuchung
- Mengenermittlung
- Kostenermittlung
- Bauablaufmodellierung

Entsprechend war es das Ziel die Qualitätssteigerung, Sicherheitssteigerung und Prozessoptimierung mittels der BIM-Methodik für diese Anwendungsfälle zu erreichen zu erreichen.

In dem zu erstellenden Modell wurden unter anderem

- Vermessungsdaten, Geländemodell, Umgebungsbebauung, Umwelt und Baugrund
- Infrastrukturdaten Dritter, Streckenplanung und Trassierung
- Bauwerksplanung

zusammengeführt.

AIA (Bewertung: 1,00 Punkte)

Wie in den zuvor beschriebenen Pilotprojekten, wurde auch für dieses Pilotprojekt kein AIA erstellt, was dem Umstand geschuldet war, dass das Projekt ausgeschrieben wurde, bevor das Pilotprojekt startete. Der im Laufe des Projektes erstellte BAP wurde zu einer informellen Regelung (1 Punkt).

BAP (Bewertung: 3,83 Punkte)

Es wurde ein ausführlicher BAP für das Gesamtprojekt aufgestellt. Dazu wurden von Seiten der AG sogar externe Berater hinzugezogen. Der BAP wurde im Laufe des Projektes verbindlich und ersetzte informell die AIA (3 Punkte). Im BAP wurden sämtliche BIM-Ziele (4 Punkte) inklusive der zugehörigen Anwendungsfälle festgehalten und definiert (4 Punkte). Es wurden Regelungen bezüglich LOD, Software, Attribuierung, etc. getroffen (4 Punkte). Darüber hinaus wurden organisatorische Fragen beispielhaft berücksichtigt wie die klare Definition und Verteilung von Aufgabenfeldern (5 Punkte). Zusätzlich wurde der BIM-Workflow schriftlich festgehalten (3 Punkte).

Verträge (Bewertung: 1,00 Punkte bzw. bereinigt 2,50 Punkte)

Die Vergabe des Projekts erfolgte als Nachtragsbeauftragung, da die Planung der Bauwerke bereits begonnen hatte. Der AN/Objektplaner stellte ein ausführliches Angebot inklusive detaillierter Leistungsbeschreibungen auf, anhand dessen die Nachbeauftragung erfolgte (3 Punkte). Die BIM-Leistungen wurden vereinbart und im bereits erwähnten BAP ausführlich beschrieben (4 Punkte). In den Verträgen wurden jedoch keine BIM-spezifischen Regelungen getroffen (0 Punkte). Da die Planung essenzieller Bestandteil der BIM-Ziele war wurden hierzu Regelungen getroffen (3 Punkte).

Wie für alle Projekte gilt, dass die letzten beiden Kriterien der Bewertung nicht in den Verträgen geregelt und daher beide mit null bewertet wurden (0 Punkte, 0 Punkte).

Technologie (Bewertung: 4,00 Punkte)

Die Erstellung des Modells erfolgte im Zusammenspiel der Softwarelösungen Siemens NX (Brückenmodellierung) und Obermeyer PROVI (Gelände, Trassierung, etc.). Die Modellierung des Querschnittes erfolgte parametrisch. Die Mengen- und Kostenermittlung, die Erstellung von Leistungsverzeichnissen sowie die Bauablaufplanung wurden unter anderem im Zusammenspiel von RIB iTWO 5D und Microsoft Projekt erstellt.

Es wurde mit DOXIS eine CDE genutzt (3 Punkte) sowie mit CPIXML ein für den Attribut austausch geeignetes Datenaustauschformat (4 Punkte). Softwaretechnisch kam es zu keinen nennenswerten Schwierigkeiten (4 Punkte) und die Hardware war den Anforderungen voll und ganz gewachsen (5 Punkte).

BIM-Team (Bewertung: 3,40 Punkte)

Wie bereits beim BAP betont wurde, waren die Aufgaben und Rollen der Akteure eindeutig geregelt (4 Punkte). Bezüglich des Wissens-/Erfahrungsstandes des Teams muss die große Kenntnis im Bereich der Modellerstellung (5 Punkte) und Modellkoordination (4 Punkte) besonders hervorgehoben werden. Es muss aber auch der im Vergleich deutlich geringere Kenntnisstand bezüglich der Modellprüfung (2 Punkte) genannt werden. Die Qualität der Schulungen wurde mit (2 Punkten) bewertet.

Planungsphasen (Bewertung: 3,00 Punkte)

Die Planung und Variantenuntersuchung wurde anhand des 3D Modells koordiniert (4 Punkte, 4 Punkte). Die Fachmodelle wurden hierfür in 3D erstellt oder in 3D konvertiert (4 Punkte). Die zusammengeführten Fachmodelle wurden im Gesamtmodell vollständig visualisiert (5 Punkte). Dazu wurde im BAP für jedes Bauteil ein zugehöriger LOD festgelegt und im Modell umgesetzt (5 Punkte). Hierfür wurden ein geometrischer Detailgrad sowie eine bauteilspezifische Attribuierung festgelegt (3 Punkte). Es wurde jedoch keine Klassifikation für die Bauteile angewandt (0 Punkte). Trotz dieser Passgenauigkeit des Modells wurden die meisten Pläne konventionell erstellt und nur schematische Ansichten aus dem Modell abgeleitet (1 Punkt).

Bezüglich der Modellprüfung müssen Abstriche gemacht werden. Da nur ein Unternehmen an der Modellierung beteiligt war, erfolgte die Kollisionsprüfung (1 Punkt) und die Prüfung fachlicher Vorgaben (1 Punkt) nur durch das Unternehmen selbst. Die Prüfung des LOD durch den AG erfolgte lediglich manuell anhand einzelner Bauteile und nicht automatisiert (2 Punkte).

Die Durchführung der Kostenschätzung und der Bauzeitplanung ist als positiv zu bewerten. Anhand des mit dem Bauzeitenplan verknüpften Modells (5 Punkte), erfolgte die BIM-gestützte Kostenschätzung. Den Bauteilen jeder Variante wurden dazu Einheitspreise zugewiesen (5 Punkte).

Zusammenfassung

Bezüglich seiner Zielsetzungen kann das Projekt als erfolgreich gesehen werden. Es wurde ein für die Zielsetzung angemessenes 5D-Modell erstellt und eine Variantenuntersuchung inklusive Kostenschätzung durchgeführt.

Da nur ein Unternehmen beteiligt war, wurde der BIM-Koordination weniger Bedeutung beigemessen. Die getroffenen Überlegungen zu bauteilspezifischen LOD sind besonders hervorzuheben, da dieser Frage eine besondere Bedeutung zukommt (siehe 2.5.1). Auch zeigt sich welche Vorzüge ein detailliert aufgestellter BAP mit sich bringt.

Das Projekt zeigt außerdem, dass man aus hardware- und softwaretechnischer Sicht sehr gut in der Lage ist, BIM-spezifische Lösungen anzubieten.

Verbesserungspotenzial findet sich zum einen bei der Modelprüfung. Zum anderen stellt sich die Frage, warum von der Möglichkeit der 2D-Planableitung kaum Gebrauch gemacht wurde, obwohl das Modell als Ausgangsbasis vieler Besprechungen diente und einen ausreichenden Detailgrad aufwies.

In Abbildung 7 wird der Reifegrad des Projektes gezeigt.

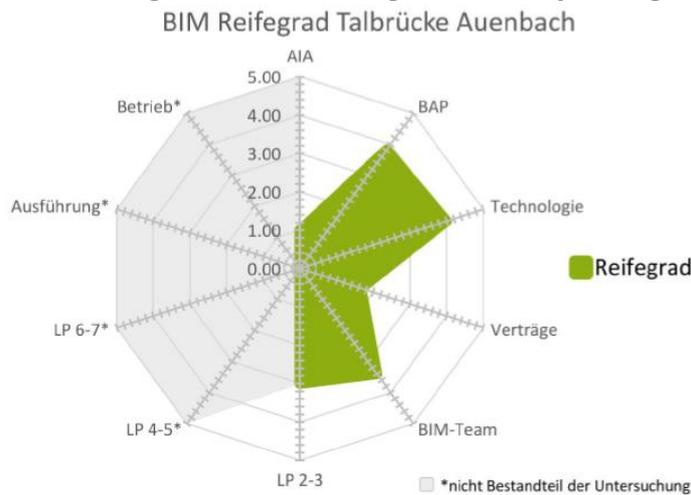


Abbildung 7: Reifegrad der Talbrücke Auenbach nach (29)

2.4.1.4 Pilotprojekt 4: Tunnel Rastatt

Grundlage des nachfolgenden Kapitels ist der Endbericht der wissenschaftlichen Betreuung (30).

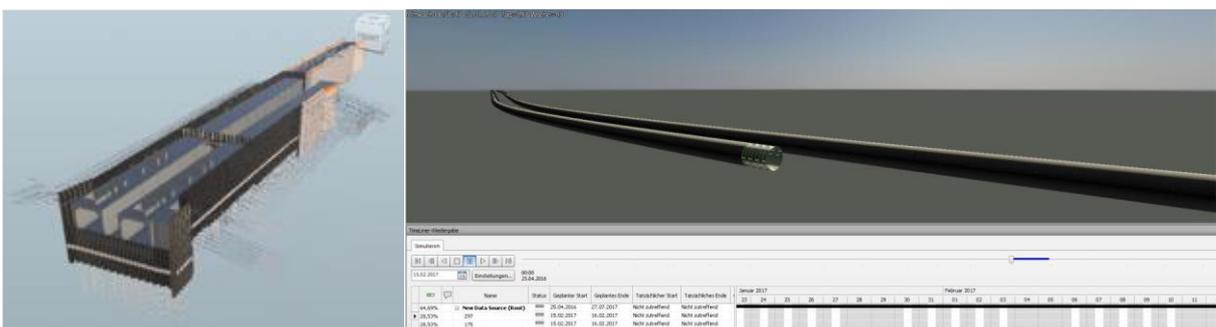


Abbildung 8: Tunnel Rastatt nach (30)

Der Eisenbahntunnel Rastatt ist Bestandteil der Neu- und Ausbaustrecke Karlsruhe-Basel. Hierbei sollten ca. 4,7 km Tunnelsystem mit zwei eingleisigen Röhren unter teils geringen Überdeckungshöhen von unter 4 m gebaut werden (31).

Nach weiteren Ausbauarbeiten sollte die Eisenbahnstrecke ab 2022 in Betrieb genommen werden.

Am 12.08.2017 kam es jedoch aufgrund der unterirdischen Bauarbeiten zu einer Senkung der bestehenden Gleise an der Geländeoberfläche. Um ein weiteres Absinken zu verhindern, wurden die bereits fertiggestellten 4000 m langen Röhren mit Beton aufgefüllt. Zum Stand 12.02.2020 sollten im Laufe des Jahres 2020 die Bauarbeiten wieder aufgenommen werden ((32)) und die Vorbereitungen hierfür sind im Gange (33) .

Mit einer Inbetriebnahme ist laut Verantwortlichen nicht vor 2025 zu rechnen.

Der Umfang des BIM-Pilotprojektes Tunnel Rastatt betrifft alle Leistungen, die mit dem Hauptvertrag Tunnelrohbau vergeben wurden:

- Das zweiröhrige Tunnelsystem von ca. 4,7 km Länge
- die Tunnelportale
- an die Portale angeschlossene Trogbauwerke

Im Zuge des Projektes sollte die BIM- gestützte Planung nachlaufend zur konventionellen Planung erfolgen und die Resultate verglichen werden.

BIM-Ziele

Eines der generellen Ziele bestand darin aufzuzeigen, welche Effizienzsteigerungen die BIM-Methodik im Bereich der Planungs- und Projektmanagementprozesse ermöglicht. Als zweites Ziel sollte eine höhere Planungssicherheit und -qualität aufgrund der veränderten Kommunikation und Koordination erreicht werden.

Diese Vorgaben wurden in mehreren Teilzielen konkretisiert:

- Die verbesserte Vernetzung und Koordination aller an der Planung Beteiligten, inklusive Kollisionsprüfung.
- Die modellbasierte Zusammenarbeit der Fachplaner, sowie die Ableitung der 2D Pläne vom 3D-Modell.
- Die Variantendarstellung und Simulation von Bauabläufen.
- Ein Vergleich bzw. eine Plausibilitätskontrolle der konventionellem Mengenermittlung mit der BIM-gestützten Mengenermittlung

Es ist wichtig anzumerken, dass der Einsatz der BIM-Methodik erfolgte, nachdem die konventionelle (Fach-)Planung erfolgt war. Dies lässt mehrere der BIM Ziele fragwürdig erscheinen.

AIA (Bewertung: 4,00 Punkte)

Auch wenn, ähnlich wie bei den anderen Pilotprojekten, zu Beginn kein AIA vorhanden war, so wurde der im Laufe des Projektes erstellte BAP zur AIA. Im Gegensatz zu den anderen Projekten wurde der so gewachsene AIA um entsprechende Punkte ergänzt, beispielsweise Datenaustauschformate. Dies geschah in Kooperation zwischen AG und AN (4 Punkte).

BAP (Bewertung: 4,00 Punkte)

Im Zuge des Projektes wurde zwischen AG und AN ein BAP ausgearbeitet. Dieser wurde unter anderem zu einer AIA umgewandelt, aber nie als Vertragsbestandteil aufgenommen (2 Punkte). Im BAP wurden die BIM-Ziele von Seiten des AG qualitativ formuliert (3 Punkte). Ihnen wurden die entsprechenden Anwendungsfälle zugewiesen und detailliert beschrieben (5 Punkte).

Sämtliche technischen Fragen wie Datenaustauschformate, Software, Lieferprodukte oder die CDE wurden ebenfalls ausführlich beschrieben (5 Punkte).

Das Gleiche gilt für die organisatorischen Fragen. Funktionen und Rollen wurden festgelegt und detailliert abgegrenzt (5 Punkte). Bezüglich des BIM-Workflows wurde in dem BAP graphisch und schriftlich beschrieben, wie die Arbeitsabläufe strukturiert und wie Resultate zu prüfen sind (4 Punkte).

Verträge (Bewertung: 2,50 Punkte bzw. bereinigt 3,75 Punkte)

Die Beauftragung erfolgte anhand eines, mit einem externen AN abgestimmten, BIM-Konzeptes (2 Punkte). Die BIM-Leistungen wurden über einen BAP vereinbart und geregelt (4 Punkte). Im Gegensatz zu den anderen Pilotprojekten wurden BIM-spezifische Vereinbarungen getroffen. Insbesondere betrafen diese zugriffs-, geheimhaltungs- und datenschutzrechtliche Bestimmungen zu den BIM-Lieferobjekten sowie Regelungen bezüglich der Nutzung von BIM-Plattformen und zum BIM-Management (4 Punkte). Bezüglich der im Projekt bearbeiteten Planung wurden Regelungen bezüglich LOD der Lieferobjekte, Arbeitskoordination, Modellprüfungen und die Berufung externer Berater im Bedarfsfall geregelt (5 Punkte).

Wie für alle Projekte gilt, dass die letzten beiden Kriterien der Bewertung nicht in den Verträgen geregelt und daher beide mit null bewertet wurden (0 Punkte, 0 Punkte).

Technologie (Bewertung: 3,00 Punkte)

Die Erstellung des Modells erfolgte in einem Zusammenspiel aus verschiedenen Softwarelösungen wie Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D, ceapoint desite MD, Autodesk Navisworks, RIB iTWO 5D, FusionLive.

Als CDE wurde ein Dokumentmanagementsystem mit Namenskonventionen verwendet (2 Punkte). Für den Datenaustausch wurden, soweit möglich, offene Datenaustauschformate wie IFC verwendet (3 Punkte).

Für die Modellierung des Tunnels und zugehöriger Bauten war die Software grundsätzlich geeignet. Die Größe des Bauwerkes führte jedoch zu Performanceproblemen, weshalb das Modell in mehrere Teilmodelle zerlegt werden musste. Als unerwünschter Nebeneffekte mussten daher die Mengen und Kostenermittlungen jeweils für die einzelnen Teilmodelle erstellt und anschließend zusammengefügt werden. Auch ergab sich aufgrund

mangelnder Standardkataloge ein erhöhter Modellierungsaufwand (3 Punkte). Bezüglich der Hardware gab es keine nennenswerten Probleme (4 Punkte).

BIM-Team (Bewertung: 4,60 Punkte)

Das BIM-Team setzte sich aus Vertretern aller am Projekt Beteiligten zusammen. Durch den BAP waren alle BIM-Rollen geregelt (4 Punkte). Diese entfielen auf die Bereiche:

- BIM-Leitung
- BIM-Berater
- BIM-Manager/BIM -Manager-Baustelle
- BIM-Ausarbeitung
- BIM-Benutzung

Über die Modellerstellung (5 Punkte) hinaus waren auch sehr gute Kenntnisse bezüglich der Modellkoordination (5 Punkte) und Modellprüfung (5 Punkte) vorhanden. Zusätzlich wurden die Beteiligten geschult (4 Punkte).

Planungsphasen LPH 4 und 5 (Bewertung: 2,08 Punkte)

Das Modell wurde weitgehend in 3D erstellt und nur in Teilen um 2D erweitert (3 Punkte). Die Koordination der Fachplaner erfolgte jedoch nicht BIM-gestützt (0 Punkte). Auch wurden die 2D-Pläne nicht vom 3D-Modell abgeleitet (0 Punkte). Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die BIM-Modellierung nachlaufend zur konventionellen Planung erfolgte und aus den konventionell erstellten Plänen generiert wurde. Somit war weder die Koordination noch die Planableitung sinnig. Im BAP wurde ein LOD für jedes Bauteile festgelegt (3 Punkte) und diese wurden entsprechend umgesetzt (5 Punkte). Zusätzlich wurde ein geeignetes Klassifikationssystem erstellt und angewendet (3 Punkte). Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass die angesetzten LOD nicht an die Anwendungsfälle angepasst waren.

Entsprechend der Regelungen des BAP wurde eine Prüfung des Modells vorgenommen (3 Punkte), jedoch nur bezüglich des LOD und nicht hinsichtlich fachlicher Vorgaben (0 Punkte). Anhand des mit dem Bauzeitenplan verknüpften Modells (5 Punkte) wurde eine Mengenermittlung durchgeführt. Diese erfolgte anhand einer Verknüpfung des Modells mit einem Leistungsverzeichnis (3 Punkte).

Eine Fachplanung (Tragwerksplanung, Brandschutzplanung, etc.) war nicht Teil der Anwendungsfälle, wurde in der wissenschaftlichen Betreuung aber mit 0 Punkten aufgeführt. Diese Bewertung ist kritisch zu sehen.

Zusammenfassung

Die Resultate des Pilotprojekts „Tunnel Rastatt“ können, vor allem im Bereich des BAP und der Vertragsregelungen besonders positiv betrachtet werden. Gleiches gilt für die Resultate der Modellierung und Mengenermittlung.

Zwar war der LOD nicht an die Anwendungsfälle angepasst, aber es muss betont werden, dass es für Tunnelbauten kein Attribuierungs- und Klassifizierungssystem gab und hier im Projekt Pionierarbeit geleistet wurde.

Die schwächere Bewertung in der Kategorie Technik ist zum einen dem Mangel an Formaten geschuldet, zum anderen der Größe des zu modellierenden Bauwerks. Entsprechend wird hier auf eine noch vorhandene technische Grenze verwiesen.

Die ebenfalls geringe Bewertung der LPH 4 und 5 ist kritisch zu betrachten. So sind zwar zu Beginn des Projektes gestellte Ziele der Koordination der Fachplaner oder die Ableitung der 2D-Pläne aus dem 3D-Modell nicht erfolgt, aber sie waren für das gegebene Projekt fragwürdig. Die Modellierung erfolgte anhand der bereits vorhandenen 2D-Pläne. Warum sollte man sie also erneut ableiten?

Auch ist es fragwürdig nicht vorgesehene oder erfüllbare Aspekte überhaupt zu bewerten. Warum spielt die Fachplanung in die Bewertung mit ein, obwohl sie doch kein Teil der Anwendungsfälle war? Hier bezieht sich die Kritik auf die gleiche Argumentation wie die Kritik bezüglich der Vertragskriterien (siehe 2.3.1 Verträge).

In der Abbildung 9 wird der Reifegrad des Pilotprojektes dargestellt.

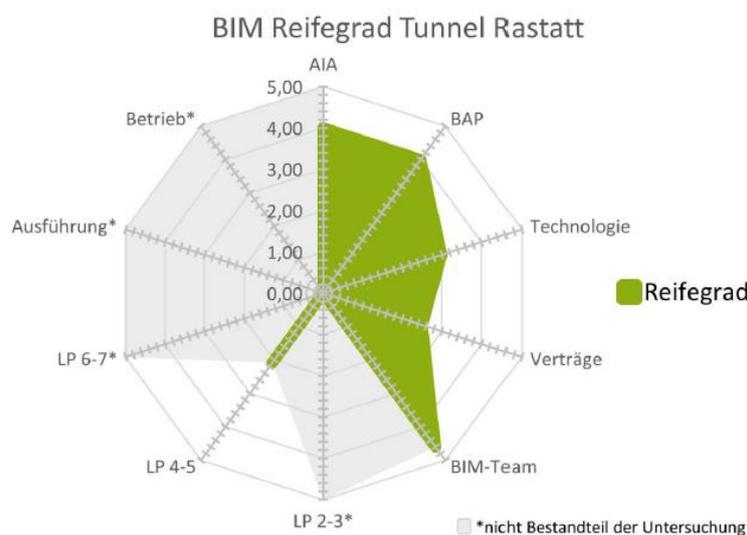


Abbildung 9: Reifegrad des Tunnels Rastatt nach (30)

2.4.1.5 Vergleich und Schlussfolgerungen

Um die Pilotprojekte abschließend miteinander vergleichen zu können, sind nachfolgend die Bewertungen der Projekte in den einzelnen Kategorien aufgeführt.

Tabelle 6: Vergleich der Projektbewertungen

Kategorie/Projekt	Pilotprojekt 1 Brücke Petersdorfer See	Pilotprojekt 2 Überführung Filstal	Pilotprojekt 3 Talbrücke Auenbach	Pilotprojekt 4 Tunnel Rastatt
AIA	1,00	1,00	1,00	4,00
BAP	1,83	3,17	3,83	4,00
Verträge	0,67	0,67	1,67	2,50
Verträge bereinigt	1,00	1,00	2,50	3,75
Technologie	4,00	3,75	4,00	3,00
BIM-Team	1,40	2,40	3,40	4,60
Planungsphasen	-	1,92	3,00	2,08
Ausführungsphasen	0,57	2,29	-	-
Durchschnittsnote	1,58	2,17	2,82	3,36
Bereinigte Durchschnittsnote	1,63	2,21	2,96	3,57

Anmerkung: Die aufsteigenden Bewertungen der Pilotprojekte sind nicht beabsichtigt. Sie ergeben sich aus der Reihenfolge der Bearbeitung.

AIA und Verträge

Es ist auffällig, dass die AIA und die Verträge in den Pilotprojekten 1-3 deutlich schlechter bewertet wurden als die anderen Bereiche. Dies lässt darauf schließen, dass hier noch viel Entwicklungspotential vorhanden ist, was durch die BIM4INFFRA2020 angegangen wird. In den nachfolgenden Kapiteln werden hierzu explizite Lösungsansätze aufgeführt. Dennoch ist für beide Kategorien zu vermerken, dass die Rahmenbedingungen nur bedingt geeignet waren, gute Ergebnisse zu liefern. Da die Bauprojekte bereits vergeben waren, als die Pilotprojekte begannen, ist es bemerkenswert, dass im vierten Projekt so viel Aufwand in die Nachtragsbeauftragungen investiert wurde.

Das Festhalten an manchen Kriterien hinsichtlich der Vertragsgestaltung erscheint fragwürdig. Aufgrund der zeitlichen und strukturellen Rahmenbedingungen konnten die angelegten Maßstäbe in keinem der Projekte erfüllt werden. Doch selbst wenn die Bewertung der Verträge um diese Kriterien „bereinigt“ wird, fallen die ersten beiden Projekte deutlich hinter den anderen zurück. Hier wird ein großer Nachholbedarf deutlich.

BAP

Obwohl der BAP laut der BIM4INFRA2020 einen Teil der Vertragsunterlagen darstellt, wird er in allen Fällen erfolgreicher bewertet als die AIA und Verträge im Allgemeinen. Bemängelt wird meist die Unklarheit bei der Definition von Aufgaben und die mangelnde Detaillierung bei der Beschreibung von Leistungen, Anwendungsfällen und Workflows. Dies ist teils mangelnder Erfahrung, teils aber auch der geringen Zahl der Projektbeteiligten geschuldet.

Als Ergebnis der Projekte erarbeitete die BIM4INFRA2020 auch hierfür Handreichungen.

Technologie

Die Technologie hat sich bei allen Projekten als den Zielen und Aufgaben der BIM-Methodik gewachsen gezeigt. Das vierte Projekt ausgeschlossen, wurde die Technologie durchgehend gut bewertet.

Eine häufige Schwachstelle war die CDE, was sich durch Erfahrungen und erweiterte Standards verbessern lassen sollte.

Die Mängel der Technologie im vierten Projekt sind auf die Besonderheiten des Tunnelbaus und die Größe des Objektes zurückzuführen.

BIM-Team

Bezüglich der BIM-Teams konnte leider in den meisten der Projekte wenig Erfahrung gesammelt werden, da teilweise nur ein einziges Unternehmen an der Erprobung der BIM-Methodik mitwirkte.

Augenscheinlich korrelieren die Bewertungen der BAP und BIM-Teams. Ursache hierfür kann der größere vorhandene bzw. in Schulungen erworbene Wissenstand bezüglich BIM sein, der sich entsprechend in den Regeln widerspiegelte. Dieser Wissenstand war bezüglich der Modellprüfung bei allen Teams relativ gering. Diese musste meist stichprobenartig, händisch durchgeführt werden.

Planungs- und Ausführungsphasen

Die Bewertungen der mit der BIM-Methodik erarbeiteten Leistungsphasen liegt mit Ausnahme des ersten Projektes im Mittelfeld.

Es ist schwierig hier Gemeinsamkeiten zu beschreiben, da sich die bearbeiteten Phasen und BIM-Ziele sowie die Modellobjekte zum Teil deutlich unterschieden. Zusammenfassend kann nur angemerkt werden, dass die Bewertungskriterien kritisch hinterfragt werden sollten. An dieser Stelle scheint eine stärkere Orientierung am „sinnvoll Möglichen“ geboten.

Zusammenfassung

Zusammenfassend können die Projekte 2-4 als erfolgreich eingestuft werden. Es wurden verschiedene Anwendungsfälle untersucht und mit teils großem Erfolg gelöst. Anhand der Resultate konnten im Zuge der Stufe 2 von Seiten der BIM4INFRA2020 eine Reihe an Handreichungen erarbeitet werden, auf welche in den späteren Kapiteln teilweise eingegangen wird. Zusätzlich konnte die Qualität der „aktuellen“ Technik aufgezeigt werden.

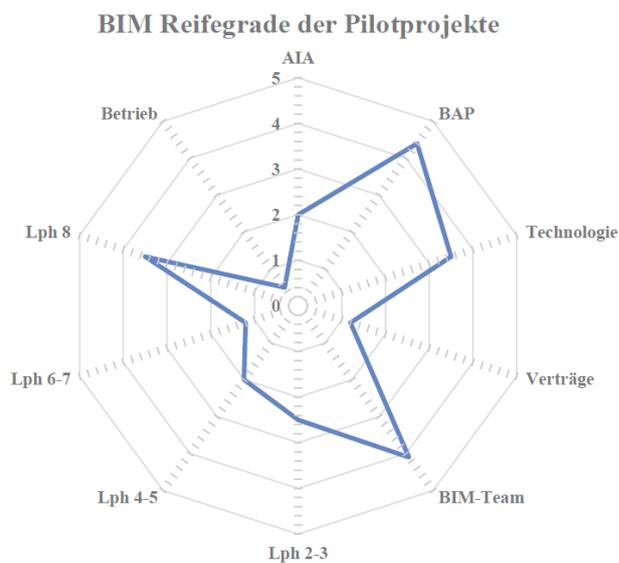


Abbildung 10: Gemittelter Reifegrad der Pilotprojekte nach (34)

2.4.2. NACHFOLGENDE STUFEN

Im Zuge der Stufe 2 wurden weitere Pilotprojekte ausgeschrieben und durchgeführt. Es wurden jedoch von Seiten des BMVI keine Berichte zu diesen veröffentlicht. Eine Übersicht der erweiterten Pilotprojekte in Zusammenarbeit mit der DB Netze ist in Abbildung 11 dargestellt.

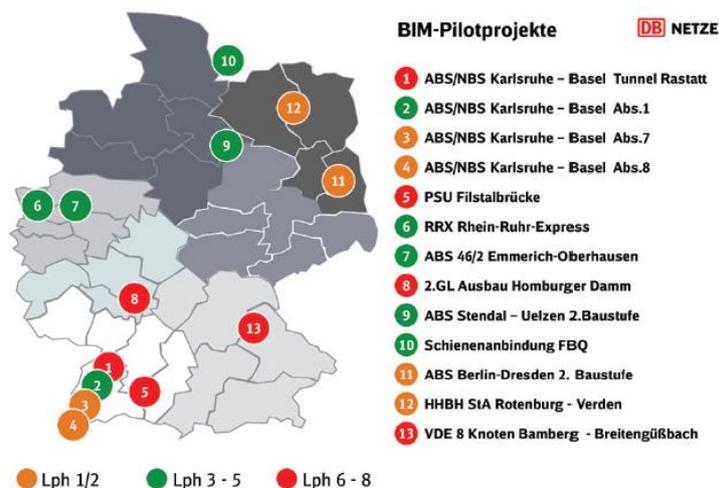


Abbildung 11: Erweiterte Pilotprojekte der DB Netze nach (35)

Des Weiteren wurden durch die BIM4INFRA2020 zehn Handreichungen erarbeitet, die sich mit den nachfolgenden Aspekten befassen:

1. Grundlagen und BIM-Gesamtprozess
2. Leitfaden und Muster für Auftraggeberinformationsanforderungen
3. Leitfaden und Muster für BIM-Abwicklungspläne
4. Leitfaden zur Leistungsbeschreibung
5. Muster besondere Vertragsbedingungen BIM
6. Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle
7. Handreichungen BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad
8. Neutrales Datenaustausch im Überblick
9. Datenaustausch mit Industry Foundation Classes
10. Technologien im BIM-Umfeld

Die im Rahmen der Stufe 2 erarbeiteten Handreichungen bezüglich AIA, BAP, Verträgen, sowie die Anwendungsfälle werden im nachfolgenden Kapitel 2.5 aufgegriffen. Zusätzlich wurde mit der IFC Bridge, als Teil der IFC INFRA, ein standardisiertes offenes Datenaustauschformat entwickelt. Auf dieses wird in 2.5.3 genauer eingegangen.

Über den aktuellen Stand der Stufe 3, welche Ende des Jahres 2020 beginnen sollte, wurde noch nichts bekannt gegeben. Ursache dafür dürften die vielfältigen Herausforderungen durch die Corona-Pandemie sein.

2.5. STANDARDISIERUNGEN

2.5.1. GRUNDLAGEN

In den Pilotprojekten kristallisierte sich eine Problemstellung als essenziell für die Einführung und Anwendung der BIM-Methodik im Infrastrukturwesen heraus: die Standardisierung.

Bei der Standardisierung handelt es sich um die Vereinheitlichung und Angleichung von Bauteilen, Prozessen, Maßeinheiten, etc. Ziel ist es dabei, Effizienzsteigerungen und Rechtssicherheit zu schaffen. Vereinheitlichung bedeutet in diesem Kontext nicht, dass alles identisch sein muss, sondern dass einheitliche Regeln geschaffen und umgesetzt werden, bspw. wie Massen gemessen werden.

Für die BIM-Methodik ergeben sich daraus gleich mehrere Fragestellungen:

- Wie soll die BIM-Methodik vertraglich geregelt werden, damit alle Beteiligten über Rechtssicherheit verfügen und Aufgaben und Funktionen klar geregelt sind?
- Wie kann die BIM-Methodik in die HOAI eingegliedert werden? (Diese Frage ist trotz des Gerichtsurteils des EuGH vom 04.07.2019 von Bedeutung, da sich die Vertragsregelungen in Deutschland weiterhin an der HOAI orientieren.)
- Wie sollen die digitalen Modelle gespeichert und ausgetauscht werden?

Für die Lösung dieser Fragestellungen ergaben sich im Laufe der Pilotprojekte und ihrer Auswertung mehrere Lösungsansätze. Vor allem bezüglich der vertraglichen und strukturellen Problemstellungen konnten durch BIM4INFRA2020 eine Reihe an Handreichungen erarbeitet werden.

Für den Datenaustausch und entsprechende Speicher- und Datenaustauschformate wurde IFC Bridge unter deutscher Leitung als Teil der IFC Infra erarbeitet. Dadurch soll der IFC Standard um die Infrastruktur erweitert werden. Dieses soll das bisher durch das BMVI angebotene OKSTRA ersetzen.

2.5.2. VERTRAGSWESEN

Anhand der tabellarischen Darstellung der Projektbewertungen in „**2.4.1.5 Vergleich und Schlussfolgerungen**“ ist klar zu erkennen, dass die Kategorie ‚Verträge‘ die mit Abstand schlechtesten Bewertungen aufweist (im Falle von Pilotprojekt 4 die zweitschlechteste).

Wie bereits in 2.3.1 ausgeführt, ist die Bewertung der Projekte hinsichtlich dieser Kategorie kritisch zu sehen, da zwei Bewertungskriterien „nicht zu erfüllen waren“. Selbst bei Bereinigung der Ergebnisse um diese Kriterien bleibt der Abstand der Durchschnittsbewertungen zu den anderen signifikant (siehe auch Abschnitt 2.3.1.5) Entsprechend ist der Bedarf zur Verbesserung der vertraglichen Strukturen groß.

Die sich auf BIM beziehenden vertraglichen Regelungen wurden stets nachträglich festgelegt. Daher wurden die Verträge in den Projekten 2 und 3 entsprechend ergänzt. Im Falle des ersten Projekts wurde sogar nur eine Absichtserklärung unterzeichnet. Wie in 2.3.1.4 und 2.3.1.5 beschrieben erhielt hier lediglich Projekt 4 gute Bewertungen.

Für die Verträge selbst wurden durch die BIM4INFRA2020 mit der Handreichung 5 (16) eine Reihe von Empfehlungen erarbeitet. Diese Standardisierungen der vertraglichen Regelungen sollen Planungs- und Rechtssicherheit gewährleisten. Besonders hervorzuheben sind dabei die AIA und die Regelungen für einen BAP. Durch diese sollen Fragen bezüglich der Leistungen, Aufwand und Organisation geregelt werden. Als Orientierungspunkte für die BIM-Leistungen werden die in 2.4.2.3 beschriebenen AwF genutzt. Dadurch sollen einheitliche/vergleichbare Anforderungs- und Leistungsbeschreibungen in den Ausschreibungen und späteren Verträgen ermöglicht werden.

Auf jeden der genannten Aspekte wird im Folgenden eingegangen.

2.5.2.1 Auftraggeberinformationsanforderungen

In diesem Kapitel werden vor allem (13) und (36) sowie die Erkenntnisse aus den Pilotprojekten zurate gezogen.

Entsprechend der Handreichungen der BIM4INFRA2020 gilt für die AIA:

„Die AIA beschreiben aus der Sicht des Auftraggebers die Anforderungen, die ein Auftragnehmer im Rahmen der Leistungserbringung unter Verwendung von Building Information Modeling zu berücksichtigen hat.“ (13)

In den AIA werden also die zu erbringenden BIM-Leistungen hinreichend detailliert beschrieben sowie geklärt, in welcher Weise der Auftraggeber Zugriff auf die entsprechenden Daten erhält.

Die AIA ist Bestandteil der Ausschreibungs- und Vertragsunterlagen und somit im Zuge der Vergabe einzusehen. Der AG beschreibt in ihr detailliert die geforderten BIM-Leistungen hinsichtlich AwF, Detailgraden, Datenaustauschformaten und dem weiteren Umfang. Die AIA darf als Teil der Vertragsunterlagen in keinerlei Widerspruch zu den anderen Vertragsbestandteilen stehen und soll nur BIM-spezifische sowie ergänzende bzw. noch fehlende Informationen bezüglich Projektspezifika und Rahmenbedingungen enthalten. Informationsredundanz soll vermieden werden. Auch müssen gegebenenfalls die AIR, OIR und/oder PIR berücksichtigt werden.

Auch sollten laut VDI 2552 Blatt 10 (36) Angaben zu der vom AG genutzten Technologie und der verwendeten CDE enthalten sein.

Die AIA darf keine Vergabestrategie bevorzugen oder benachteiligen.

Die Beschreibung der Leistungen kann laut den Handreichungen der BIM4INFRA2020 auf drei Arten erfolgen:

1. Die funktionale Beschreibung: Hier wird die Zielsetzung der BIM-Leistungen sowie die erforderlichen Funktionsweisen und Aufgaben beschrieben, nicht aber konkrete Modellelemente, Detailgrade, Attribuierungen und Klassifikationen. Der AN wird dazu aufgefordert, dem AG Vorschläge zu unterbreiten, welche als Lösungen für die gestellten Anforderungen dienen.
2. Bei der semi-detaillierten Beschreibung wird die funktionale Beschreibung um relevante Modellelemente und ihre zugehörigen Attribuierungen, Klassifikationen und konkrete Detailanforderungen ergänzt. Außerhalb der genannten Bereiche verbleibt dem AN weiterhin ein großer Freiraum.
3. Im Falle der detaillierten Beschreibung werden sämtliche Modellkomponenten in allen Details beschrieben. Der AN kann nur ergänzende Vorschläge einbringen.

Die Handreichungen der BIM4INFRA2020 legen nahe, die AwF „**2.5.2.3 Anwendungsfälle**“ unabhängig von der gewählten Beschreibungsart als Grundlage der Leistungsbeschreibungen zu nutzen.

Durch die in den AIA festgelegten Regelungen erhält der AG Rechtssicherheit bezüglich der zu erhaltenden BIM-Leistungen. Gleichzeitig gibt die AIA dem AN die Möglichkeit, den zu erbringenden Leistungsaufwand und die damit verbundenen Kosten abzuschätzen.

Die Handreichungen der BIM4INFRA2020 enthalten auch Musterentwürfe für AIA, welche eine gute Möglichkeit bieten einen Überblick zu gewinnen. Es ist insbesondere positiv hervorzuheben, dass der Detailgrad hier nicht nur als LOD200 etc. angegeben wurde, sondern dass dieser LOD auch mittels einer verbalen sowie skizzenhaften Beschreibung eindeutig beschrieben ist. Wie in 2.6.1 diskutiert werden wird, ist dies von großer Wichtigkeit. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 22 (13) zu sehen.

2.5.2.2 BIM-Abwicklungsplan

In diesem Kapitel werden vor allem die Handreichungen der BIM4INFRA2020 Teil 3 (14) und die Richtlinie der VDI 2552 Blatt 10 (36) sowie die Erkenntnisse aus den Pilotprojekten zurate gezogen.

Um ein Projekt möglichst effizient durchzuführen, benötigt es klare Strukturen und Prozesse. Rollenverteilung und Aufgaben innerhalb eines Projektes müssen genauso geregelt sein wie die Abläufe und eventuell maßgebende Meilensteine, Koordinationszeitpunkte oder Strukturen.

All diese Aspekte sollen in einem BAP erarbeitet und festgehalten werden. Hierfür bietet BIM4INFRA2020 wie auch für die AIA Handreichungen. Des Weiteren bietet das VDI 2552 Blatt 10 (36) eine Richtlinie zur Erstellung eben solcher.

Anders als die AIA ist der BAP kein Bestandteil der Vergabeunterlagen, geschweige denn der Ausschreibungsunterlagen. Der BAP wird erst nach der Vergabe als Kooperation des AG und aller AN und sonstiger am Projekt Beteiligter erstellt. Der BAP ist als eine Roadmap zur Lösung der Aufgaben der AIA zu verstehen.

Als Teil des Vergabeprozesses ist das Angebot der AN in Teilen als eine Frühphase des BAP zu sehen. In Absprache mit allen Beteiligten ist zu klären, welche BIM-Rollen und zugehörige Arbeitsprozesse und Kontrollstrukturen benötigt werden. Der BAP enthält Absprachen zu BIM-Rollen, Aufgabenverteilungen und Prozessen inklusive der Kontrollstrukturen sowie Meilensteine, Koordinations- und Abgabezeitpunkte. Des Weiteren sollen hier Absprachen zu den CDE und den verwendeten Datenaustauschformaten sowie der verwendeten Software getroffen werden. Auch hier dienen die AwF als Orientierungshilfe bzw. Richtlinie.

Der BAP hat hierbei immer in Bezug auf die Rahmenbedingungen und Zielsetzungen der AIA zu stehen, ist der BAP doch der „Fahrplan“ zur Erfüllung eben jener.

Als Orientierungshilfe zur Strukturierung und Beschreibung der BIM-Leistungen werden in den Handreichungen der BIM4INFRA2020 wie für die AIA die AwF empfohlen, finden im VDI 2552 Blatt 10 jedoch keine Erwähnung.

Insgesamt darf der BAP nicht als einmal erstelltes, unumstößliches Gesetz verstanden werden, sondern als eine Absprache, die es in Kooperation aller Beteiligten immer wieder an die Projektgegebenheiten anzupassen und fortzuschreiben gilt. Folglich muss der BAP für jedes Projekt entsprechend der spezifischen Rahmenbedingungen (CDE, Projektbeteiligte, Zeitrahmen, etc.) unter Mitwirkung aller Projektbeteiligten neu erarbeitet und fortgeschrieben werden.

2.5.2.3 Anwendungsfälle

Im Zuge der wissenschaftlichen Betreuung des Dreistufenplans wurde im Zwischenbericht 2018 eine Liste von 20 AwF veröffentlicht (23). Jeder dieser Anwendungsfälle stellt eine Aufgabe dar, in welcher die BIM-Methode einen möglichen Lösungsansatz bietet. Die BIM-Methode ist explizit nicht als einzige Lösung zu verstehen, wird aber empfohlen.

Jeder Anwendungsfall ist mit einer Empfehlung an LOD und potenziellen Zuordnungen zu den einzelnen Leistungsphasen versehen. Entsprechend bieten die Anwendungsfälle eine

Möglichkeit, die BIM-Methodik in die Struktur der HOAI einzugliedern. Darüber hinaus erlauben sie es, die Anwendung der BIM-Methodik und die Vertragsstrukturen zu standardisieren. Auf diese Weise kann Rechtssicherheit in Bezug auf die Vergabe und vertragliche Absprachen für die einzelnen Leistungen geschaffen werden. Ein AwF ist hierbei nicht an eine LPH gebunden, sondern kann gleichzeitig mehreren LPH zugeordnet werden (17).

Nr	Anwendungsfall	Kurzbeschreibung
AwF 1	Bestandserfassung	Erfassen wesentlicher Aspekte des Bestandes durch geeignetes Aufmaß und Überführung in ein 3D-Bestandsmodell. Eingangsdaten können aus bestehenden Unterlagen, Vermessungen, 3D-Scans, Photogrammetrie oder einer Kombination daraus entnommen werden.
AwF 2	Planungsvariantenuntersuchung	Erstellung der Planungsvarianten als BIM-Modelle und Bewertung hinsichtlich der Kosten, Termine und/oder Qualität.
AwF 3	Visualisierungen	Bedarfsgerechtes Visualisieren des BIM-Modells als Basis für Projektbesprechungen im Zuge der Planung und der Ausführung sowie für die Öffentlichkeitsarbeit.
AwF 4	Bemessung und Nachweisführung	Nutzung des Modells für Bemessung und Nachweisführung, einschließlich etwaiger Simulationen wie z.B. Entrauchung, Fluchtwege etc.
AwF 5	Koordination der Fachgewerke	Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell mit anschließender automatisierter Kollisionsprüfung und systematischer Konfliktbehebung.
AwF 6	Fortschrittskontrolle der Planung	Nutzung des Modells für die Planungsfortschrittskontrolle als Grundlage des Projekt-Controllings.
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen	Ableitung der wesentlichen Teile der Entwurfs- und Genehmigungspläne aus dem Modell.
AwF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung	Darstellen sicherheitsrelevanter Aspekte (z.B. Sperrzonen, Zugangsbeschränkungen, Fluchtwege, Brandbekämpfung, Betriebsabläufe usw.) im Modell, ggf. in Zusammenhang mit temporären Bauzuständen oder Einrichtungen. Durchführen sicherheitsrelevanter Dokumentations- und Kontrollprozesse während der Bauausführung, etwa mit digitalen Formularen auf mobilen Endgeräten.
AwF 9	Planungsfreigabe	Durchführen der Prüfläufe zur Freigabe der Planungsunterlagen auf Basis von 3D-Modellen und der daraus abgeleiteten 2D-Pläne.
AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung	Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells als Basis für Kostenschätzungen und Kostenberechnungen.
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	Modellgestützte Erzeugung von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe.
AwF 12	Terminplanung der Ausführung	Erstellung von Terminplänen. Vorgängen werden Elemente des Modells zugeordnet (4D-Modell). Damit ergeben sich auch Zuordnungen zu Mengen und damit Kosten (5D-Modell).
AwF 13	Logistikplanung	Unterstützung der Planung und Kommunikation von Logistikabläufen mithilfe von 4D- und 5D- Modellen.
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen	Ableitung der wesentlichen Teile der Ausführungsplanung aus dem Modell.
AwF 15	Baufortschrittskontrolle	Nutzung des Modells für die Baufortschrittskontrolle als Grundlage des Projekt-Controllings.
AwF 16	Änderungsmanagement bei Planungsänderungen	Nutzung des Modells zur Dokumentation und Nachverfolgung von Planungsänderungen während der Bauausführung, Unterstützung der Auffindbarkeit, Nachverfolgung und ggf. die Freigabe von Projektänderungen aufgrund von Planungsänderungen.

Nr	Anwendungsfall	Kurzbeschreibung
AwF 17	Abrechnung von Bauleistungen	Nutzung des Modells – insbesondere der bauteilbezogenen Mengen – als Grundlage der Abrechnung von Bauleistungen.
AwF 18	Mängelmanagement	Nutzung des Modells zur Dokumentation von Ausführungsmängeln und deren Behebung.
AwF 19	Bauwerksdokumentation	Im Zuge des Abschlusses der Baumaßnahme wird ein Wie-Gebaut-Modell erstellt. Es beinhaltet detaillierte Informationen zur Ausführung, zu den verwendeten Materialien und Produkten sowie ggf. Verweise auf Prüfprotokolle und weitere Dokumente. Man spricht in diesem Fall auch von der „Digitalen Bauwerksakte“.
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung	Übernahme von Daten in entsprechende Systeme für das Erhaltungsmanagement, Darstellung und ggf. Bewertung des Bauwerkszustandes im Modell durch verortete Bauwerksschäden bzw. Angaben zu Details von durchgeführten Zustandserfassungen. Dieser Anwendungsfall sieht des Weiteren vor, die im Zuge von Inspektionen erhaltenen Informationen zum Zustand eines Bauwerks, einschließlich der ggf. identifizierten Schädigungen, in einem BIM-Modell zu hinterlegen und auf dieser Basis Instandsetzungsmaßnahmen zu planen. Durch die Nutzung eines Modells wird die Zustandsbewertung objektiver, transparenter und nachvollziehbarer. Zur Unterstützung von Inspektionen ist die Visualisierung des Modells vor Ort sowie die Möglichkeit des Verknüpfens des Modells mit Fotografien und Notizen erforderlich.

Abbildung 12: Eine Übersicht der Anwendungsfälle nach (37)

Zur Verdeutlichung betrachten wir den **AwF 3: Visualisierung**. (17).

Entsprechend der BIM4INFRA2020 beschreibt der AwF 3, vgl. Abbildung 12: Eine Übersicht der Anwendungsfälle nach :

„Bedarfsgerechte Visualisierung auf Grundlage der BIM-Modelle als Basis für Projektbesprechungen im Zuge der Planung und Ausführung sowie für die Öffentlichkeitsarbeit“. (17)

Ziel der Visualisierung ist also die verbesserte Entscheidungsfindung durch die Darstellung komplexer Zusammenhänge und möglicherweise auch eine größere Akzeptanz eines Projektes durch Dritte.

Dieser AwF ist ein gutes Beispiel dafür, dass ein AwF nicht nur einer einzigen Leistungsphase zugeordnet werden kann. Die Visualisierung eines Projektes ist in der Vor- und Entwurfsplanung von Nutzen wie auch bei der Überwachung eines Bauobjektes. Entsprechend ergibt sich in den Handreichungen die empfohlene Zuordnung des AwF 3 zu den LPH 2, 3, 4, 5 und 8.

Rein technisch wäre es möglich, für den AwF 3 in Kombination mit jeder der Leistungsphasen den gleichen, sehr hohen LOD anzusetzen. Tatsächlich wurde in den Pilotprojekten meist auch ein sehr hoher LOD gewählt, der sich dann aber für die entsprechenden Zielsetzungen als zu ambitioniert herausstellte. Aus Effizienzgründen ist es daher empfehlenswert, den LOD für den AwF in jeder LPH in Abhängigkeit der entsprechenden Aufgaben und Zielsetzungen separat zu festzulegen.

Es wird weder ein Verfahren vorgegeben noch werden konkrete Maßstäbe gesetzt, an welchen die Qualität der Leistung gemessen wird. Der AwF dient lediglich als Hilfe zur allgemeinen Beschreibung der entsprechenden BIM-Leistung sowie zur Unterteilung der bezüglich eines Projektes erforderlichen BIM-Leistungen in klare Aufgabenbereiche. Es wird jedoch empfohlen sich auf gemeinsame Datenaustauschformat zu verständigen.

Im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung wurden die 20 AwF bezüglich ihres NAV analysiert.

Es wurde also für jeden AwF betrachtet, welcher Mehraufwand im Vergleich zur konventionellen Arbeitsweise benötigt wird, um die AwF mit der BIM-Methodik zu lösen. Zusätzlich analysierte man den Nutzen bzw. den Mehrwert der BIM-Leistungen gegenüber den konventionellen Lösungen. Die Resultate wurden anschließend zum NAV umgerechnet. Zusammengefasst ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

Nr	AwF	Implem. Aufwand	Projekt-Aufwand	Gesamt-aufwand	Nutzen für AG	Nutzen-Aufwand-Verhältnis
AwF 1	Bestandserfassung	1,7	1,1	1,5	2,5	1,67
AwF 2	Planungsvarianten-untersuchung	1,7	0,9	1,5	2,3	1,53
AwF 3	Visualisierungen	1,0	0,7	0,9	2,5	2,73
AwF 4	Bemessung und Nachweisführung	2,5	1,4	2,2	1,9	0,86
AwF 5	Koordination der Fachgewerke	1,5	0,8	1,3	2,6	1,99
AwF 6	Fortschrittskontrolle der Planung	1,8	0,7	1,5	2,0	1,35
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen	1,8	0,8	1,5	2,3	1,53
AwF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung	1,8	1,3	1,7	1,7	1,01
AwF 9	Planungsfreigabe	2,0	0,8	1,7	2,1	1,26
AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung	1,9	0,6	1,5	2,5	1,71
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	2,1	0,9	1,8	2,6	1,47
AwF 12	Terminplanung der Ausführung	1,8	0,9	1,5	2,3	1,56
AwF 13	Logistikplanung	2,0	1,3	1,8	1,8	1,01
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen	1,8	1,0	1,6	2,2	1,39
AwF 15	Baufortschrittskontrolle	1,9	0,8	1,6	2,1	1,34
AwF 16	Änderungsmanagement	1,8	0,9	1,5	2,3	1,46
AwF 17	Abrechnung von Bauleistungen	2,2	1,0	1,8	2,2	1,23
AwF 18	Mängelmanagement	1,6	0,9	1,4	2,4	1,73
AwF 19	Bauwerksdokumentation	2,3	1,5	2,0	2,6	1,31
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung	2,4	1,3	2,1	2,7	1,30

Abbildung 13: NAV-Verhältnisse nach (37)

Wie in Abbildung 14 deutlich wird, wird lediglich zwei Fällen wird ein 1:1 Verhältnis (AwF 8 und 13) und nur in einem Fall (AwF 4) ein stark ungünstiges NAV festgestellt. In allen

weiteren Fällen wird ein günstiges, wenn nicht sogar sehr günstiges NAV beobachtet. Graphisch dargestellt ergibt sich das folgende Bild.

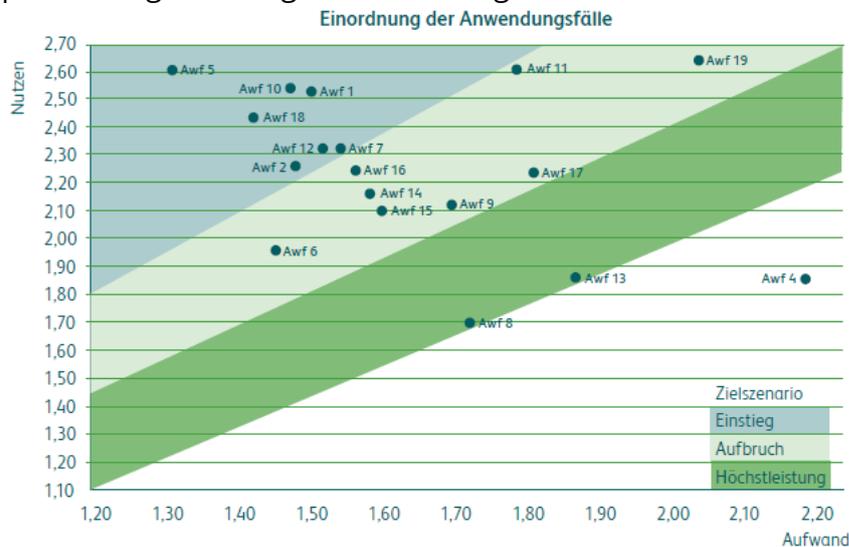


Abbildung 14: Einordnung der AwF in Kategorie nach (37)

Wie in Abbildung 14 durch farbliche Markierungen dargestellt, werden die Anwendungsfälle mit Hilfe des NAV in drei Bereiche gegliedert.

Im Bereich ‚Einstieg‘ sind die Anwendungsfälle mit $\text{NAV} \geq 1,5$ eingruppiert. Sie versprechen eine hohe Effizienzsteigerung bei geringem Projekt- und Implementierungsaufwand. Entsprechend bieten sie sich für eine direkte Umsetzung an.

Gleichzeitig wird sich ein geringes Maß an zukünftiger Effizienzsteigerung angemerkt, vor allem da sie bereits durch einen geringen Projekt- und Implementierungsaufwand auffallen.

Im Bereich ‚Aufbruch‘ ist der NAV zwischen 1,2 und 1,5 ($1,2 \leq \text{NAV} \leq 1,5$). Die betreffenden Anwendungsfälle sind aussichtsreiche Kandidaten, um den NAV „zeitnah“ verbessern zu können.

Der Bereich ‚Höchstleistung‘ bietet die BIM-Methodik einen zu geringen Mehrwert, um zeitnahe Anwendung zu finden.

Der AwF 4 fällt in keinen der Bereiche, da der Aufwand hier größer als der Nutzen ist.

Diese Einordnung steht allerdings unter dem Vorbehalt, dass die ermittelten NAV-Werte auf geringen Erfahrungen mit BIM basieren. Es erscheint mehr als nur wahrscheinlich, dass zukünftige Erkenntnisse zu höheren Nutzen-Aufwand-Verhältnissen führen, insbesondere bei den AwF, die bisher nur niedrige NAV-Werte aufweisen.

Es wird empfohlen, dass die BIM-Methodik zur Lösung der AwF der Kategorien ‚Einstieg‘ und ‚Aufbruch‘ in allen BIM-gestützten Projekten eingeführt wird. Dagegen wird von der Nutzung der BIM-Methodik für die AwF der Kategorie ‚Höchstleistung‘ und AwF 4 noch abgeraten.

Nr	Anwendungsfälle	Leistungsphasen gem. HOAI									Betrieb
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Bestandserfassung											
AwF 1	Bestandserfassung	■	■								
Planung											
AwF 2	Planungsvariantenuntersuchung		■								
AwF 3	Visualisierungen		■	■	■	■			■		
AwF 4	Bemessung und Nachweisführung		■	■	■	■					
AwF 5	Koordination der Fachgewerke		■	■	■	■					
AwF 6	Fortschrittkontrolle der Planung		■	■	■	■					
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen		■	■	■	■					
AwF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung		■	■	■	■			■		
AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung		■	■	■	■					
Genehmigung											
AwF 9	Planungsfreigabe		■	■	■	■					
Vergabe											
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe						■	■			
Ausführungsplanung und Ausführung											
AwF 12	Terminplanung der Ausführung		■	■	■	■			■		
AwF 13	Logistikplanung		■	■	■	■			■		
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen		■	■	■	■			■		
AwF 15	Baufortschrittkontrolle								■		
AwF 16	Änderungsmanagement								■		
AwF 17	Abrechnung von Bauleistungen								■		
AwF 18	Mängelmanagement								■	■	
AwF 19	Bauwerksdokumentation								■	■	
Betrieb											
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung										■

Abbildung 15: Zuordnung der AwF zu den einzelnen Leistungsphasen nach (37)

Wie in Abbildung 15 dargestellt bietet die BIM4INFRA eine praktische Zuordnung der AwF zu den einzelnen LPH.

2.5.3. IFC INFRA

Einheitliche standardisierte Datenspeicher- und Datenaustauschformate sind in allen Bereichen der Informationstechnologie von grundlegender Bedeutung. Dort, wo diese nicht vorhanden sind, entsteht bei der Weitergabe von Daten in der Regel hoher Aufwand und es drohen Fehler. Dementsprechend wird auch beim BIM ein Standarddatenaustauschformat benötigt. Hier bietet sich der IFC Standard der Building Smart ev. an. Über die ISO 16739-1 ist dieser International geregelt und über die entsprechende DIN (38) auch für Deutschland angepasst.

Der IFC-Standard ist auf dem Konzept der Objektorientierung in der Software-Entwicklung aufgebaut und macht Gebrauch von der sogenannten Vererbung von Klassen. Eine Klasse ist eine Zusammenfassung von Attributen und Methoden gleichartiger Objekte. Sie kann ihre Attribute und Methoden an eine oder mehrere Unterklassen vererben, wobei in der Regel weitere Attribute und Methoden hinzugefügt werden. Auf diese Weise entsteht eine hierarchische Klassenstruktur. Die Klassen werden immer spezifischer je weiter unten sie in der Vererbungshierarchie liegen.

Hierbei ist jede Klasse so allgemein gehalten wie möglich. Die individuelle Anpassung der Instanzen der Klassen erfolgt über Eigenschaften, welche auch in Property Sets

zusammengefasst werden können. Dadurch können die einzelnen Elemente entsprechend ihrer Funktionsweisen bzw. den Zielsetzungen der AG entsprechend attribuiert werden.

Im Hochbau gilt der IFC Standard bereits, auch als ISO Norm. Für den Infrastrukturbereich ist hier noch einiges zu erarbeiten. Ab IFC 4.2, aktueller Stand IFC 4, soll jedoch der Bereich IFC Infra eingearbeitet und zukünftig erweitert werden.

Bis dahin bietet das BMVI das Austauschformat OKSTRA als thematisch auf Infrastruktur beschränkte, nationale Zwischenlösung an.

IFC Infra ist in mehrere Teilbereiche unterteilt. Wie im nachfolgenden Diagramm dargestellt, unterteilt sich IFC Infra in die Bereiche

- IFC Bridge
- IFC Rail
- IFC Road
- IFC Ports & Waterways
- IFC Tunnel

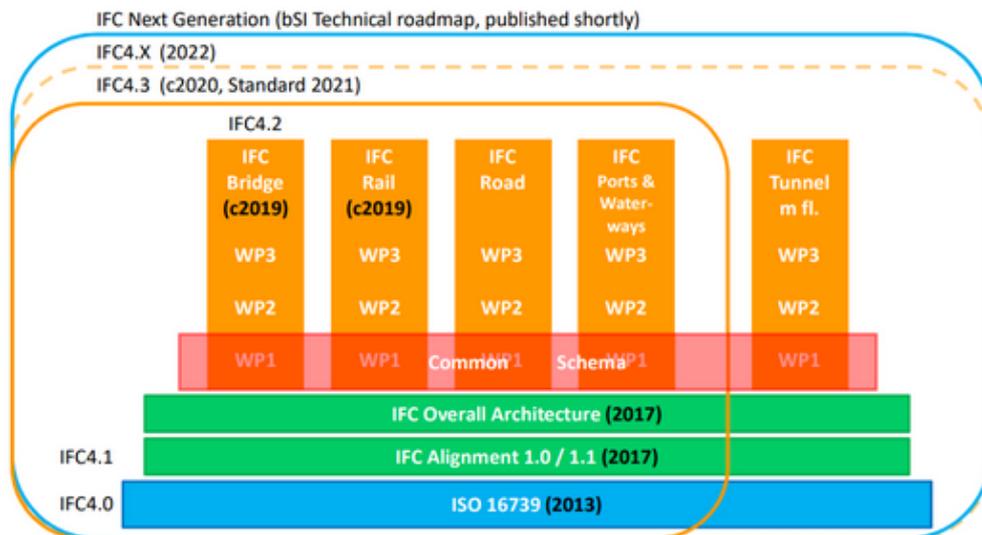


Abbildung 16: Struktur IFC Infra nach (39) inklusive zeitlicher Etappenziele

Im ersten Schritt wird der IFC Bridge mit IFC 4.2 eingearbeitet. Er hat bereits den Status eines Candidate Standards und entsprechend ist ein Entwurf erarbeitet und veröffentlicht worden. Diese soll von den potenziellen Nutzern begutachtet und deren Feedback gesammelt werden, damit etwaige Änderungen eingearbeitet werden können.

Die Erstellung des IFC Bridge erfolgte in mehreren Schritten.

Zunächst wurden semantische Beschreibungen weit verbreiteter Brückentypen (Spannbeton, Stahl, Bewehrter Beton, etc.) erstellt. Diese wurden um die Beschreibung der

Strukturen (Überbau, Unterbau, etc.) und nachfolgend der Geometrie und Materialien erweitert. Schlussendlich erfolgte eine Klassifikation, wobei auch regionale Klassifikationen berücksichtigt wurden.

In einem zweiten Schritt betrachtete man die Projektplanung und Ergebnisse zur Unterstützung nationaler Voraussetzungen und Bereiche.

Besondere Berücksichtigung erhielt die Interaktion mit den anderen Teilbereichen des IFC Infra, auch wenn diese erst in späteren Phasen (IFC Road, IFC Ports & Waterways bis 2020/2021, IFC Tunnel bis 2022) eingeführt werden sollen (39).

Momentan befindet sich der IFC Bridge in der Feedbackphase. Als Grundlage für die Diskussion wurden mehrere Beispielmodelle veröffentlicht. Diese können, beispielsweise mit dem FZKViewer des KIT betrachtet und ausgewertet werden (40), (41).

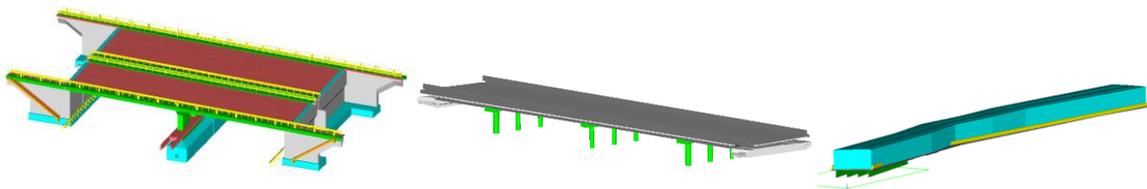


Abbildung 17: Beispielmodell 1: Brücke Bergedorfer Straße, BAB1, WTM Engineers GmbH, Hamburg; Beispielmodell 3: Cambridge SEEBridge project, University of Cambridge, Beispielmodell 4: BeamBridge, Tim Chipman, Constructivity

Jedes der Beispielmodelle betrachtet andere Aspekte des IFC Bridge.

Im ersten Modell sind die Klassifikationen des Modells nach ASB-ING 2013 enthalten. Diese werden jedem Element des Brückenentwurfes mittels IFC PropertySets zugewiesen.

PropertySets from entity	
PropertySets from entity	
Pset_RailingCommon	
Height	1.22 [m]
IsExternal	FALSE
Reference	Safety GuardRail
ASB-ING_2013	
Bauphase	2.5: Rückbau Kappengerüste TBW ...
Baustoff	Metall
Baustoffgüte Baustahl	S235 JRH, S235 J2+N
Fertigteile	Ja
Verbindungsmittel	Verankerung mit Fußplatte und Ver...
Art	Geländer
Ausführungsumfang	Alle Beschichtungen im Werk aufbri...
Bauteil	Füllstabgeländer
Bauteilgruppe	B.27_Schutzeinrichtungen
Bemerkungen	Füllstabgeländer gemäß RIZ ING G...
Beschichtete Fläche	1.10 [m²]
Einbauort	Überbau TBW Süd
Höhe	1
Länge	70.00 [m]
Oberflächenvorbereitu...	Feuerverzinkte Stahlbauteile gemä...
System des Korrosions...	Lt. Tabelle Korrosionsschutzsysteme...

Abbildung 18: Übersicht der Klassifizierung eines Geländers nach ASB-ING_2013

Betrachtet wird das Beispiel eines Geländers.

Neben dem Property Set *RailingCommon*, in welchem die Standardeigenschaften eines Geländers erfasst sind, wird dem Element noch das Property Set *ASB-ING_2013* zugewiesen. Dadurch werden dem Geländer Baustoffeigenschaften, Machart und Verbindungsmittel zugewiesen, aber auch die Korrosionsschutzsysteme. Durch die Zuordnung des Property Sets *ASB-ING_2013* erfolgt die individuelle Klassifizierung für jedes Bauteil. Das zweite Beispielmodell beschreibt die Festlegungen der Geometrien. Diese werden als Bounding Representation definiert und in ihrer Konzeption dargestellt.

Modell 3 betrachtet die Extrusion gewisser Bauteile. Dies basiert auf der Überlegung, dass bei Brücken - und auch bei Infrastrukturprojekten im Allgemeinen - oftmals Bauteile verwendet werden, welche eine Extrusion einer Fläche oder eines Querschnittes sind.

Property	Value	Color [R:26, G:26, B:26, A:255]
Body	SweptSolid	
Extrusion		Color [R:26, G:26, B:26, A:255]
Position		
Depth	200.0000000	
ExtrudedDirection	0.000000, 0.000000, -1.000000	
Profile	ArbitraryClosedProfile	
Position		
Location	0.000000, 0.000000, 0.000000	
Axis	0.000000, 0.000000, 1.000000	
RefDirecti...	1.000000, 0.000000, 0.000000	
Outer Profile		
Polyline	8 Points	
Point	-35953.247100, -1985.855100, 0.00...	
Point	-194.267500, -2239.154800, 0.000000	
Point	30396.925000, -2627.925900, 0.000...	
Point	36021.293600, 6256.839800, 0.0000...	
Point	36005.355800, 6298.931100, 0.0000...	
Point	35908.687600, 6334.241900, 0.0000...	
Point	-28543.228100, 7022.457100, 0.000...	
Point	-35953.247100, -1985.855100, 0.00...	

Abbildung 19: Extrusionsdefinition nach IFC Bridge Beispielmodell 3

Beispielhaft wird hier eine Straße betrachtet. Dem Profil wird eine Startposition (hier der Ursprung (0,0,0)) zugewiesen. Das Profil wird entlang einer Extrusions-Richtung (0,0,-1) entsprechend der gesetzten Tiefe extrudiert. In diesem Fall wird also die Straßenoberfläche entsprechend der Straßendicke nach unten extrudiert. Die einzelnen Flächen werden über ihre Randpunkte beschrieben. Nahezu im gesamten Modell erfolgt die Extrusion entlang der z-Achse. Dies erscheint wenig sinnvoll. Betrachtet man eine Straße, so ergibt eine derartige Extrusion nur ein sinnvolles Ergebnis, wenn der Straßenquerschnitt über den gesamten Brückenverlauf gleich bleibt oder zuvor die Fläche der Straße mit allen Kurven, etc. entlang des Verlaufes modelliert wird und es keine anderweitigen Querschnittsänderungen gibt. Ist dies nicht der Fall, z.B. durch eine leichte Veränderung der Neigung oder der Brückenachse, so wäre die Extrusion nicht mehr akkurat.

Eine Extrusion entlang der Brückenachse wäre hier sinnvoller, auch wenn Achsenorientierung in den nachfolgenden Modellen für den Fall geschwungener Achsen noch dargestellt wird.

Die letzten beiden Modelle, d.h. die Modelle 4 und 5, betrachten genau die oben genannte Extrusion entlang eines Alignments. Es werden hierbei zum einen eine Balkenbrücke, zum anderen eine Hängebrücke betrachtet. Da sich die Beispiele nur in der Achse aber nicht in der Struktur der Achse unterscheiden, wird hier nur das 4. Modell genauer betrachtet.

Geometry	
Body	AdvancedSweptSolid
SectionedSolid	
AlignmentCurve	
Tag	?
Horizontal	
AlignmentHorizontal	
StartDistAlong	0.000000
Segments	2 Segments
Circle	
Position	
Location	2143.824054, -9027.948794, 0.000000
Axis	0.000000, 0.000000, 1.000000
RefDirection	1.000000, 0.000000, 0.000000
Radius	9279.000000
StartPoint	-0.000000, 0.000000, 0.000000
StartAngle	1.803943
EndPoint	2945.134643, 216.386896, 0.000000
EndAngle	1.484331
Line	
Point	2945.134643, 216.386896, 0.000000
Point	7248.996069, -156.677200, 0.000000
Vertical	

Abbildung 20: Achsenorientierte Extrusion nach dem IFC Bridge Beispielmmodell 4

Im ersten Schritt für das 4. Modell wird die Alignment-Kurve trassiert. Diese ist in Horizontale Abbildung 20 und Vertikale gegliedert. Die Horizontale ist in ein Bogensegment und ein Liniensegment unterteilt. Anschließend werden die maßgebenden Querschnitte festgelegt, nachfolgend die Positionen der Querschnitte entlang der Alignment-Kurve. Über diese Querschnitte wird der Volumenkörper erzeugt.

Auffällig ist, dass die Beispielm Modelle nur Erweiterungen/Variationen der bestehenden IFC Entitäten verwenden, aber keine neuen Entitäten definiert wurden. So sind beispielsweise die Straßen vom Typ IFC Wall. Die meisten Modellkomponenten sind als Proxy Elemente angelegt. Spezifizierungen erfolgen lediglich über die Property Sets.

Zusätzlich muss festgehalten werden, dass der IFC Bridge nur für einen Teilbereich des Brückenbaus erarbeitet wurde. Unter anderem sind

- Entwässerung
- Geotechnik
- Erdarbeiten
- Ausbauten
- Strukturanalyse
- Holzbrücken
- Verschiedene Arten von komplexe Brückentypen

bisher noch nicht in IFC Bridge enthalten.

2.6. FERTIGSTELLUNGSGRAD DER LEISTUNGSPHASEN

Im Zuge der Einführung der BIM-Methodik im Bauwesen muss auch die Frage geklärt werden, welche Informationen und welchen geometrischen Detailgrad ein Modell in den verschiedenen Leistungsphasen aufzuweisen hat.

Bei der konventionellen Planung sind die Anforderungen an die Vorentwürfe andere als an die konkreten Ausführungspläne, welche sich wiederum von den Anforderungen der Bauausführung unterscheiden. Dies ist für die BIM-Methodik nicht anders.

So benötigt ein Modell eines Vorentwurfs noch keine exakte Modellierung der materialeffizienten Blechdickenvariation eines einzelnen Stahlträgers, das Ausführungsmodell möglicherweise aber schon. Die Genauigkeit kann zwar in jedem Modell erreicht werden, aber sie ist oftmals nicht zielführend, sondern nur zeitaufwändig.

Daher stellt sich die Frage, zu welchem Zeitpunkt welcher Detailgrad benötigt wird. Um der Antwort auf diese Frage näher zu kommen, ist zunächst zu klären, wie Detailgrade „erfasst“ werden. Anschließend wird der Bezug zu den LPHen der HOAI aufgestellt. Die AwF der BIM4INFRA2020 bieten hierfür eine geeignete Grundlage für ein standardisiertes Vorgehen.

2.6.1. LOG, LOI UND LOD

Entsprechend der VDI 2552 Blatt 2 und der DIN EN 16757-2 werden der LOD, LOG und LOI als Standardbegriffe zur Beschreibung des Ausarbeitungsgrades von BIM-Modellen definiert. Weitere Quellen sind (42), (43), (44), (18).

Level of Geometry (LOG)

Ein Objekt kann unterschiedlich detailliert dargestellt werden. Trassiert man eine Straße, so reicht es völlig aus, sämtliche Seitenbebauung als Quader darzustellen, um potenzielle Wegführungen zu finden. Will man allerdings ein Planungsobjekt an potenzielle Investoren vermarkten, muss das Modell das zukünftige Bauobjekt so realistisch wie möglich widerspiegeln.

Diese unterschiedlich genauen geometrischen Detailgrade eines Objektes werden als **LOG** bezeichnet.

Es gibt an, wie sehr sich das Modell geometrisch der Realität annähert, und bietet ein Spektrum zwischen einer Bounding Box und einem geometrischen Zwilling.

Die Steigerung der Genauigkeit wird in Abbildung 21 schematisch für einen einfachen Bürostuhl dargestellt. Das Problem des LOG ist, dass es nicht eindeutig „bemessen“ werden kann.

Für den Bürostuhl stellt sich beispielsweise die Frage, ab welchem LOG welche Krümmung der Rollenbeine dargestellt werden sollen. Eine allgemeingültige und zufriedenstellende Antwort darauf zu formulieren ist offensichtlich schwierig. Deshalb muss der LOG verbal beschrieben und stets an die Anforderungen angepasst werden.



Abbildung 21: Beispielüberlegungen zum LOG, (42)

Es gibt für das LOG auch die Bezeichnung Level of Detail (LOD). Da dies jedoch zu Verwechslungen mit dem Level of Development (LOD) führen kann wird in dieser Arbeit die Bezeichnung LOG verwendet.

Level of Information (LOI)

Ein Bauteil/Objekt besteht aus mehr als nur seiner Geometrie und BIM ist mehr als nur eine Sammlung von 3D-Modellen. Bei einer Wand beispielweise sind nicht nur ihre Abmessungen relevant, sondern es muss auch bekannt sein, aus welchem Material sie besteht. Eine Betonwand kann ein Fertigteil sein oder vor Ort geschalt und betoniert werden. Sie kann jedwede Art von Betonfestigkeit haben, der Zement stammt von einem gewissen Hersteller, der Beton kann wasserundurchlässig sein und hat einen bestimmten u-Wert. All diese und noch viele weitere Informationen können einem Objekt zugewiesen werden.

Der Detailgrad bzw. die Fülle an Informationen eines Modells wird als **LOI** bezeichnet. Wie beim LOG stellt sich auch beim LOI die Frage nach einem geeigneten Verfahren zur Bemessung. Dies ist insbesondere deshalb herausfordernd, weil unterschiedliche Projektbeteiligte unterschiedliche Informationen benötigen. So spielt es für die Statik keinerlei Rolle, wie viel eine zu bemessende Betonwand kostet. Für die Kostenkalkulation ist diese Information jedoch essenziell, wohingegen die für den Statiker entscheidenden Festigkeitswerte der Wand in den Hintergrund treten.

Wir befinden uns also in derselben Situation wie bei der Festlegung des LOG und es liegt nahe, einen analogen Lösungsansatz zu wählen: Der LOI muss verbal abhängig von den zu lösenden Aufgaben beschrieben werden.

Level of Development (LOD)

In der Regel werden für ein Projekt nicht nur Informationen des LOG oder des LOI benötigt, sondern Angaben aus beiden Bereichen. Beispielsweise ist die Statik sowohl auf die Festigkeitswerte einer Betonwand als auch auf ihre Abmessungen angewiesen. Entsprechendes gilt für die Kalkulation.

Die Kombination aus dem geometrischen Detailgrad LOG und dem Informationsgehalt LOI wird als **LOD** bezeichnet.

Wie zuvor begründet, wird der LOD verbal den Anforderungen entsprechend beschrieben. So stellen die beiden Kombinationen Wandabmessungen/Betonkosten und Wandabmessungen/Festigkeiten gleichwertige LOD dar.

LOD	LOG	LOI
200	<p>Ein Modellelement vom Typ „Brückenkappe“ wird als Volumenkörper mit exakter Menge, Abmessung, Form, Lage und Orientierung modelliert. Der Bordstein wird als eigener Volumenkörper modelliert.</p>  <p>Abbildung: Beispielfhafte Modellierung Brückenkappe LOD 300 nach Mini 2016*</p>	<p>Für ein Modellelement vom Typ „Brückenkappe“ werden folgende Attribute festgelegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Name: Material <ul style="list-style-type: none"> ■ Datentyp: Text ■ Einheit: - ■ Name: Expositionsklasse <ul style="list-style-type: none"> ■ Datentyp: Text ■ Einheit: - ■ Name: Korrosionsschutz <ul style="list-style-type: none"> ■ Datentyp: Text ■ Einheit: - ■ Name: Bewehrungsgehalt <ul style="list-style-type: none"> ■ Datentyp: Dezimalzahl ■ Einheit: kg/m³ <p>Der Auftragnehmer kann zusätzliche Attribute definieren, die für die Erbringung seiner Leistungen erforderlich sind. Die Attribute werden durch den Auftragnehmer im Rahmen des BAP definiert und durch den Auftraggeber genehmigt. Es müssen konkrete Vorgaben zu Namen, Datentypen, möglichen Werten und Möglichkeiten zur automatischen Prüfung spezifiziert werden.</p>

Abbildung 22: Beispieleines LOD nach (13)

Ein Beispiel aus den Handreichungen der BIM4INFRA2020 (Abbildung 22) veranschaulicht diese Herangehensweise bei dem Modell einer Brückenkappe mit LOD 200.

Durch eine graphische Darstellung und prägnante Formulierungen wird verdeutlicht, welche geometrischen Informationen (LOG) und welche LOI-relevanten Angaben gefordert sind.

2.6.2. LEVEL OF DEVELOPMENT DER LEISTUNGSPHASEN 1-5

Da es sich bei Infrastrukturprojekten in den meisten Fällen um Aufträge öffentlicher Auftraggeber handelt, werden auch in diesem Kapitel die LPH der HOAI als Struktur zur Beschreibung der Planungsabschnitte genutzt, auch wenn die Honorarregelungen der HOAI durch das Gerichtsurteil des EuGH vom 04.07.2019 gekippt wurden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein konzeptioneller Vorschlag zur Zuweisung der Ausarbeitungsgrade in den Leistungsphasen 1-5 erarbeitet.

Wie bereits diskutiert sind auch die Festlegungen der LOD im nachfolgenden Vorschlag kritisch zu sehen, da es schwierig ist, das LOD numerisch festzulegen. Auch kann der Detailgrad projektbedingt abweichen. So kann es sich als nicht sinnvoll herausstellen gewisse Bauteile nur schematisch darzustellen, wenn bereits ein detailliertes Objekt in den Bauteilbibliotheken vorhanden ist.

In den AIA (siehe 2.4.2.1) müssen für jede Phase die im Modell einzuarbeitenden Elemente, sowie ihr LOD festgelegt werden. Die Festlegung erfolgt für jeden Bauteiltypen individuell.

Da die in einem Modell enthaltenen Bauteile, in jedem Projekt anders sind, kann hier keine allgemeine Liste geboten werden. Exemplarisch wird diese Festlegung an zwei Modellkategorien dargestellt. Die Struktur orientiert sich dabei an der Handreichung der BIM4Infra sowie an internen BIM-Spezifikationen der IPROconsult. (18), (45), (46)

Leistungsphase 1: Grundlagenermittlung

Der LPH1 kann kein LOD zugewiesen werden, da in dieser Phase kein Modell erstellt wird. In dieser LPH werden sämtliche Randbedingungen eines Projektes zusammengetragen. Die Daten dienen als Basis für die nachfolgenden LPHen.

Um in den nachfolgenden Phasen möglichst effizient zu arbeiten ist ein besonderes Augenmerk auf

- Topographische Vermessungen und mögliche Vorhandene Geomodelle
- Achsen/Modelle der bereits vorhandenen Infrastruktur und Umgebungsbebauung
- Eventuelle Bestandsmodelle
- Leitungspläne

zu legen.

Leistungsphase 2: Vorplanung

In der LPH2 wird aufgrund der gegebenen Datenlage eine Variantenuntersuchung durchgeführt, in welcher verschiedene Lösungen bezüglich Konstruktion, Gestaltung und Kosten verglichen werden. Der AG unterscheidet welche der Variationen realisiert werden soll. Das LOD des Modells muss es deshalb erlauben, eine Kostenschätzung vorzunehmen.

LOG: Die ungefähren Positionen, Form und Abmessungen aller wesentlicher Bauteile müssen gegeben sein und sollten sich zur LPH3 hin auch nicht mehr signifikant ändern. Zu diesen Abmessungen zählen unter anderem

- Die Spannweite
- Der Brückenquerschnitt
- Die Fahrbahnabmessungen und Aufbau
- Kappenbreiten

Ausbauten (Bsp.: Entwässerung, Passive-Schutzeinrichtungen, Brückenlager) können, wenn überhaupt benötigt, schemenhaft, beispielsweise über Bounding-Boxen, dargestellt werden.

LOI: Die Materialien, die Typen der Bauteile sowie maßgebende Kennwerte und Eigenschaften müssen bekannt sein (z.B. erfahrungsgemäßer Bewehrungsgrad von Stahlbetonbauteilen).

Diese Informationen müssen gemeinsam mit der Geometrie die Grundlage bilden, um die Kosten abzuschätzen und dem AG eine Vorstellung des Entwurfs zu vermitteln.

LOD: 100-200

Beispiele:

Tabelle 7: Beispiele LOD der LPH2

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Brückenplatte	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-kategorie, Betongüte, Einheitspreis
Passive Schutz-einrichtung	100	Vereinfachte Darstellung als Volumenkörper/Bounding Box	Bauart

Leistungsphase 3: Entwurfsplanung

In der LPH3 wird die zu erbauende Variante inklusive sich aus der Bemessung ergebender Änderungen sehr genau dargestellt. Zusätzlich muss ein grober Zeitplan erstellt werden. Die Ausbauten wie Entwässerung und Geländer sind einzuarbeiten und die Bauteile an die konkrete Bemessung anzupassen.

Da das Bauwerk anhand des BIM-Modells in der LPH4 genehmigt/überprüft werden muss, ist ein genehmigungsfähigen Detailgrad anzusetzen.

Anhand der Informationen der LPH3 muss eine Kalkulation der Baukosten möglich sein.

LOG: Die Bauteile sind in ihren maßgebenden Abmessungen darzustellen. Die schematische Darstellung von Ausbauten ist nicht mehr zulässig. Auch müssen konstruktive Aspekte wie Fugengeometrien konkretisiert werden.

LOI: Die Informationen der LPH2 müssen um Informationen für die Bemessung, Positionsnummern, etc. erweitert werden. Zusätzlich müssen zeitliche Informationen eingearbeitet werden.

LOD: 200-300

Beispiele:

Tabelle 8: Beispiele LOD der LPH3

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Widerlager	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-kategorie, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Passive Schutz-einrichtung	200	Position, Abmessungen	Material, Typ, Einheitspreis, zeitlicher Bauabschnitt

Leistungsphase 4: Genehmigungsplanung

In der LPH4 wird das Modell der LPH3 durch Träger öffentlicher Belange geprüft und Änderungen gefordert. Die entsprechenden Änderungen werden in das Modell eingearbeitet. Der Inhalt Modells ändert sich hierdurch, nicht aber den geometrischen oder semantischen Detailgrad.

Daher sind der LOD der LPH3 und der LPH4 gleich.

Leistungsphase 5: Ausführungsplanung

In dieser LPH muss das Modell so präzisiert werden, dass anhand der Pläne und Details gebaut werden kann. Beispielsweise müssen Stahlbetonteile mit einem Bewehrungsplan und Übergänge mit Detailzeichnungen versehen werden. Natürlich kann die Bewehrung auch modelliert werden. Dies bietet jedoch oft trotz hohen Zeitaufwands keinen oder nur einen geringen Mehrwert gegenüber dem Bewehrungsplan.

Das Modell kann in dieser LPH bei Bedarf auch um die Baustelleneinrichtung und Hilfsbauten erweitert werden.

In Modellen aus dem Hochbau, welche als Vergleich dienten, wurden Details nur in 2D in den abgeleiteten Schnitten/Details verfeinert.

LOD: Die einzelnen Elemente müssen geometrisch exakt dargestellt und positioniert werden. Auch konstruktive Aspekte wie die Bewehrung müssen mindesten in Form eines Bewehrungsplans beigefügt sein.

Die Darstellung von Details kann auch nur in 2D erfolgen.

LOI: Sämtliche konstruktionsrelevanten Informationen müssen enthalten sein, sowie bauablaufspezifische zeitliche Informationen.

LOD: 300-400

Beispiele:

Tabelle 9: Beispiele LOD der LPH5

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Brückenplatte	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Bewehrungsplan	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Übergangskonstruktion	300	Genaue Position, Abmessungen, Detailzeichnung	Material, Typ, Einheitspreis, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeit

Anmerkung: Eine Übersicht der LODs aller Modellkomponenten der beiden Vorentwurfsvarianten aus 3.3.2 und 3.3.3 findet im Anhang 2,3 und 4.

3 DIE BRÜCKENMODELLIERUNG

Die im Zuge dieser Arbeit erfolgte Modellierung wurde mit der Softwarelösung Revit und dem SOFiSTiK Bridge Modeler (im Folgenden kurz SOFiSTiK), einem Plug-in für Revit, durchgeführt.

Bei Revit handelt es sich um eine BIM-Modellierungssoftware der Firma Autodesk.

Zur Betrachtung der Beispielmolelle des IFC wurde der FZK Viewer des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie SOLIBRI genutzt.

3.1. GRUNDLAGEN DER MODELLIERUNG

Für die Modellierung der Brücken mussten mehrere Teilaspekte des Plug-ins und der allgemeinen Revit-Modellierung erworben und aufgearbeitet werden, da weder von Seiten des Instituts Bauinformatik der TU Dresden noch von der Seite der IPROconsult Erfahrungen mit dem Plug-in vorhanden waren.

3.1.1. TOPOGRAPHISCHES MODELL

Die Topografie ist das maßgebliche Element im Infrastrukturbau und bestimmt die Trassenführung und Variantenuntersuchung. Zudem sind die daraus resultierenden Baumas-sen ein signifikanter Kostenpunkt. Daher ist es unerlässlich, die Topografie des bestehenden Geländes von Beginn an als Grundlage zu verwenden. Insbesondere in frühen LPH sind Vermessungsdaten nicht immer vorhanden, obwohl diese Daten sowohl in der konventionellen Planung, als auch für die BIM-Methodik essentiell sind. Daher können Karten und Vermessungsdaten der Ämter (z.B. DGM, Luftbilder, Stadtmodelle) eine gute Datengrundlage bilden.

Für die nachfolgenden Modelle waren Vermessungsdaten vorhanden. Obwohl diese relativ ungenau waren, konnten aus diesen Daten die Bemessungspunkte extrahiert werden. Diese dienten als Grundlage um mittels der Körpermodellfunktionen in Revit eine topographische Landschaft zu generieren.

Ursprünglich waren die Punkte im globalen Vermessungskoordinatensystem gegeben. Für die Nutzung in Revit musste jedoch die Anordnung der Koordinaten sowie ihre Zahl-darstellung angepasst werden. In den gegebenen Daten war ein Ausreißer vorhanden. Dieser basierte auf einem verrutschten Komma. Um diesen Fehler zu finden wurden die Vermessungspunkte zunächst in ein lokales Koordinatensystem transformiert, wobei der Nullpunkt der Brücken/Straßenachse als lokaler Nullpunkt festgelegt wurde. Dadurch wurden die Zahlen deutlich übersichtlicher und der Ausreißer konnte identifiziert werden.

In einem zweiten Schritt wurden die Punkte in kartesische Koordinaten (x-, y- und z-Koordinaten) überführt, die durch Kommata getrennt und mit „.“ als Dezimalsymbol darzustellen waren.

Als Resultat erstellte Revit ein Modell des Geländes vor der Bebauung, welches aufgrund der rudimentären topographischen Modellierung in Revit eher skizzenhaft ausfiel.

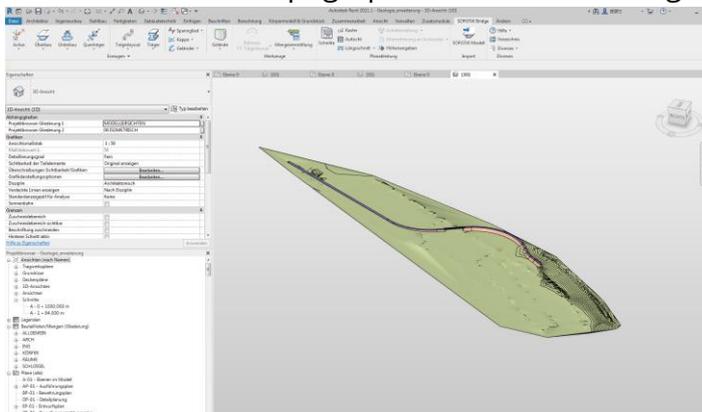


Abbildung 23: Geländemodell des Projektes Jena(eigene Darstellung)

Ein Modellierungsproblem, welches auch in den Pilotprojekten auftrat, war die Böschungsmodellierung. Die in Revit vorhandenen Möglichkeiten zur topographischen Modellierung sind hier unzulänglich.

Man hätte die Böschung als Volumenkörper oder als adaptive Bauteile Modellieren können. Diese müssen bei Änderungen der Trassierung oder Straßenabmessungen, etc. Händisch angepasst werden. Daher wurde die Böschungen als Überbau in SOFiSTiK realisiert. Die Höhe der Böschung sowie ihre Breite wurde dabei als Achsenvariable übergeben, um die 45° Neigung einfach parametrisieren zu können. Alternativ hätte man die Höhe auch formgebend über eine Sekundärachse modellieren können (siehe 3.1.3.1 Achsenmodellierung). Durch die Überbaustruktur lassen sich die Abmessungen der Böschung in Kombination mit anderen Modelkomponenten über die Achse Steuern.

Böschungsausrundungen um die Widerlager wurden als Unterbauten modelliert, da sie sich nur unzulänglich als achsenorientierte Modelle erstellen lassen.

3.1.2. ADAPTIVE BAUTEILE

Eine der größten Herausforderungen der Anfangsphase der Arbeit lag in der Aufgabe, die durch das Plug-in angebotenen Bibliotheken (Überbauten, Unterbauten, Träger, etc.) bedarfsgerecht zu erweitern. Als von großer Bedeutung stellte sich heraus, dass SOFiSTiK nahezu ausschließlich mit adaptiven Modellen arbeitet.

Es handelt sich dabei um eine spezielle Form der von Revit zur Verfügung gestellten Familien.

Adaptive Bauteile offerieren die Möglichkeit, dass sie sich über adaptive Punkte und zugehörige Referenzlinien in ihrer Form und Größe anpassen lassen, da sie in ihrer Struktur nur an diesen Punkten ausgerichtet sind. Im Gegensatz zu anderen Familien wird nicht der Abstand von Referenzebenen als Maßstab betrachtet, sondern der Versatz einzelner Punkte bezüglich ihnen zugewiesener Referenzebenen – in den meisten Fällen den Referenzebenen anderer Punkte. Der Versatz eines Punktes zur Referenzebene kann sowohl als konkreter Zahlenwert mitgegeben als auch als Familienparameter gesetzt werden.

Zur Erläuterung der Funktionsweise adaptiver Modelle betrachten wir das Beispiel eines Fassadenelements, siehe Abbildung 24. Revit bietet hierfür Vorlagen.

Das Element ist über vier adaptive Eckpunkte definiert, die in der gewählten Vorlage in den Eckpunkten eines Quadrates platziert sind.

Für die spätere Formgebung ist diese Festlegung nicht entscheidend. Eine Platzierung der adaptiven Punkte in einer Form, die der gewünschten angepassten Form ähnelt, kann für die strukturellen Überlegungen zwar hilfreich sein, ist aber nicht zwingend erforderlich. Jeweils zwei benachbarte Eckpunkte werden ausgewählt und ein Spline zwischen ihnen erzeugt. Dieser Spline wird als Referenzlinie deklariert.

Die weitere Formgebung erfolgte mittels Punkten auf den Referenzachsen. Durch die normierten Kurvenabschnitte werden die Streckenabschnitte der Punkte auf den Verbindungsachsen festgelegt, wobei die Kurvenabschnitte als Familienparameter definiert sind (30% der Linie ab dem Startpunkt bzw. Endpunkt).

Die Verbindungen der jeweils gegenüberliegenden Punkte werden ebenfalls als Spline und Referenzachsen erzeugt. Über den normierten Kurvenabschnitten von 50% werden die Dreiecksspitzen platziert. Über einen Versatz (Familienparameter mit beliebigem Wert) werden die Pyramidenspitzen erzeugt.

Die Verbindungen der jeweiligen Punkte erfolgen abermals als Splines und Referenzachsen. Sie dienen als Kanten der volumenbegrenzenden Flächen. Sie werden ausgewählt und über sie ein Volumenkörper erzeugt.

Anmerkung: Auch wenn alle Achsen und Kanten Geraden sind werden sie dennoch als Punktspines erzeugt, um eine Steuerung der Achsen und Kanten zu ermöglichen.

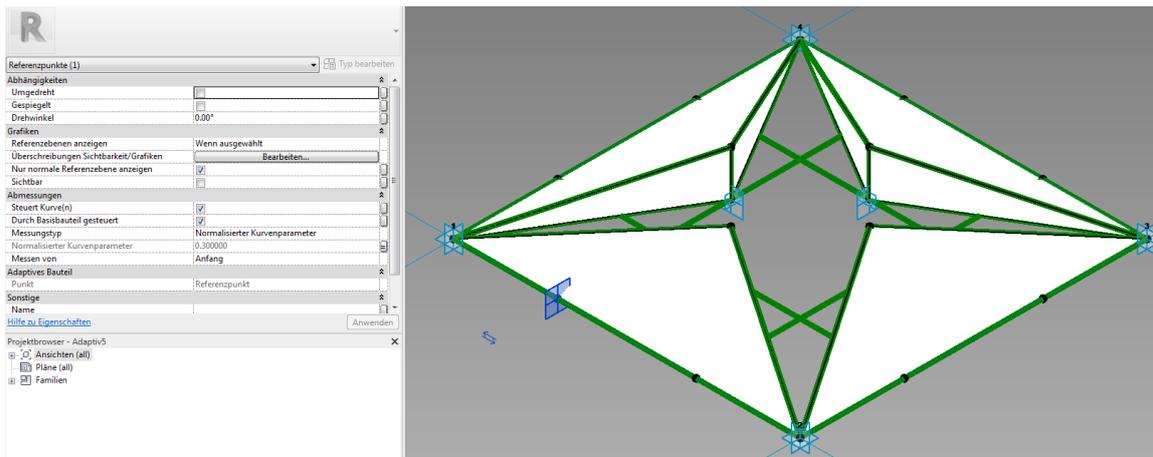


Abbildung 24: Adaptives Fassadenelement (Eigene Darstellung)

Dieses simple adaptive Bauteil kann nun in eine beliebige Form eingefügt werden, sofern vier Einfüangepunkte vorhanden sind.

In Abbildung 25 wurden vier Punkte willkürlich auf einer Referenzebene platziert und das adaptive Bauteil eingefügt. Hierfür müssen die adaptiven Punkte der Reihe nach den jeweiligen Zielpunkten zugewiesen werden.

Die resultierende Form ist eine Verzerrung der zuvor modellierten. Obwohl die Innenwinkel nicht rechtwinklig sind und sich die Seitenlängen alle voneinander unterscheiden, entsprechen die Verhältnisse denen in der Ursprungsform. Die Pyramidenspitzen sind unverändert oberhalb der Mittelpunkte der Verbindungsachsen der 30% Streckenabschnitte positioniert.

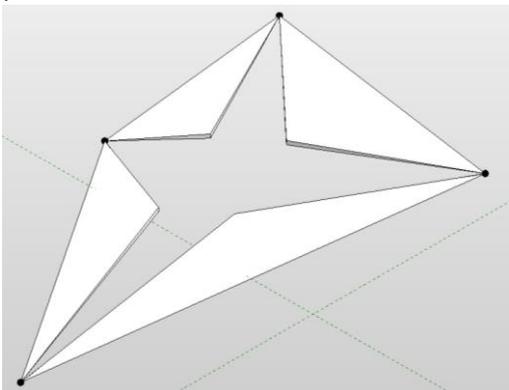


Abbildung 25: Eingefügtes Fassadenelement (Eigenen Darstellung)

Um die Grundlagen der Funktionsweise und Modellierung adaptiver Bauteile zu erlernen können die Videos von Nico G. (47), (48), (49), (50), (51), empfohlen werden.

3.1.3. DIE BAUTEILFAMILIEN UND FEATURES DES SOFISTIK BRIDGE MODELERS

In diesem Kapitel soll kurz auf die verschiedenen Bauteilfamilien, welche im SOFiSTiK Bridge Modeler angeboten werden, eingegangen und ihre Funktionsweisen beschrieben werden. Sie werden alle als adaptive Bauteile modelliert.

Die für die beiden Vorentwurfsmodelle erzeugten Familien werden nicht hier bezüglich ihrer Parametrisierung und Geometrie erläutert, sondern in den zu dem jeweiligen Modell gehörenden Kapiteln.

Als Quellen zum Erlernen der Funktionsweisen des SOFiSTiK-Plug-ins wurden die Webinare (52) und die Dokumentation der SOFiSTiK (53) genutzt.

3.1.3.1 Achsenmodellierung

Um ein Modell einer Brücke zu erstellen, ist die Modellierung der Achse von ausschlaggebender Bedeutung. Das gilt insbesondere bei der Verwendung des SOFiSTiK-Plug-ins, da die gesamte Modellierung über die Hauptachse festgelegt ist. Diese Achse kann um beliebig viele Sekundärachsen erweitert und dadurch spezifiziert werden. Es ist also von maßgebender Bedeutung, welche Informationen für die Achse benötigt werden.

Die Achsenbeschreibung wird in zwei Teile untergliedert: die horizontale und die vertikale Trassierung.

Benötigt werden die Längen der Abschnitte einer geometrischen Struktur sowie ihre geometrische Beschreibung (Linie, Klothoide, Bogen) mit den zugehörigen Radien. Die exakten Koordinaten der Stützpunkte werden nicht benötigt.

In Abbildung 26 werden zur Veranschaulichung die für die Vorentwurfsvarianten (siehe 3.2) genutzten Achsdaten angegeben, sowie um die Placementbezeichnungen ergänzt. Die Koordinaten der Placements sind nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Nummer	Lagenabschnitt	Abschnittslage	Startradius	Endradius	Neigung[-]	Relative Neigung	x[m]	y[m]	z[m]	x _{lok} [m]	y _{lok} [m]	z _{lok} [m]	Art
Str1	0	0	0	0	32	32	4.473.820	5.646.965	139.06	0	0	0	0,06 Line
Str2	701	701	0	100	32	32	4.474.155	5.647.580	139.552	335	615	0	0,552 Clothoid
Str3	741	40	-250	0	27	27	4.474.173	5.647.616	139.589	353	651	0	0,589 Arc
Ba1	960	219	-250	-100	371	11	4.474.169	5.647.828	143.897	349	863	4	4,897 Line
Ba2	1.000	40	0	0	366	6	4.474.149	5.647.863	145.25	330	898	6	6,25 Arc
Str4	1.084	84	0	100	366	6	4.474.106	5.647.935	148.092	287	970	9	9,092 Clothoid
Str5	1.124	40	250	0	371	11	4.474.087	5.647.970	149.19	267	1.005	10	10,19 Arc
Str6	1.425	301	250	-100	48	48	4.474.127	5.648.250	148.97	308	1.285	9	9,97 Clothoid
Str7	1.465	40	0	100	53	53	4.474.156	5.648.278	148.7	336	1.313	9	9,7 Clothoid
Str8	1.505	40	-250	0	48	48	4.474.185	5.648.306	148.93	365	1.341	9	9,93 Clothoid
Str9	1.544	39	-250	-100	38	38	4.474.209	5.648.336	149.67	389	1.372	10	10,67 Line
Str10	1.584	40	0	0	33	33	4.474.229	5.648.371	150.96	410	1.406	11	11,96 Line
Str11	1.642	58	0	0	33	33	4.474.258	5.648.421	153.67	438	1.457	14	14,67

Abbildung 26: Struktur der Achsdaten sowie die Koordinaten der Abschnitte in globalen und lokalen Koordinaten (eigene Darstellung)

Zusätzlich kann die Achse um Variablen erweitert werden. Diese können entweder in Form von Stützpunkten und Typdefinitionen oder über Formeln festgelegt werden. Wichtig ist es, bei der Modellierung der Achse darauf zu achten, die Richtung des ersten Abschnittes im Nullpunkt anzugeben.

SOFiSTiK bietet zusätzlich die Möglichkeit Achsen aus Kurven zu erstellen, welche aus einer anderen Software importiert oder in Revit gezeichnet wurden. Das kann die Modellierung vereinfachen, wenn beispielsweise der AG eine Achse zur Verfügung stellt.

Gegen diese Option spricht, dass sich eine derart erstellte Achse - im Gegensatz zu einer in SOFiSTiK erstellten Achse - im Nachhinein nicht mehr modifizieren lässt. Außerdem kann eine selbst erstellte Achse - selbst im Falle komplizierterer Achsgeometrien - schnell erstellt werden, sobald das Prinzip einmal verstanden ist und entsprechende Maße zur Verfügung stehen.

Beispielsweise dauerte die Modellierung der Achse der in Abbildung 27 dargestellten Fußgängerrampe insgesamt 45 Minuten. Die konkrete Erstellung der Achse beanspruchte lediglich 15 Minuten, obwohl die Brückenchse aus vielen Abschnitten und Kleinstabschnitten besteht. Zwei Drittel der Zeit wurden benötigt, um die zur Verfügung gestellte CAD-Datei bedarfsgerecht zu bemaßen.

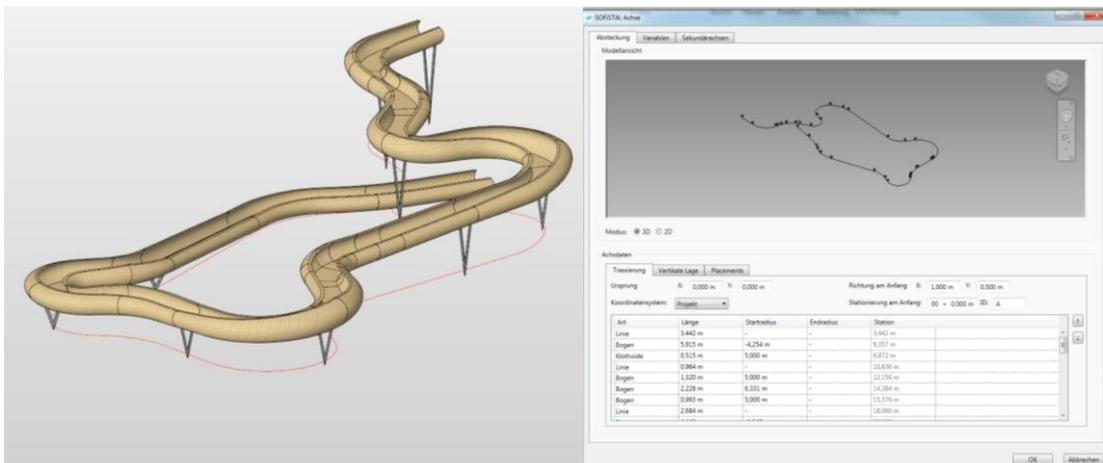


Abbildung 27: Beispiel einer Rampe in Murrelbnahoptik (eigene Darstellung)

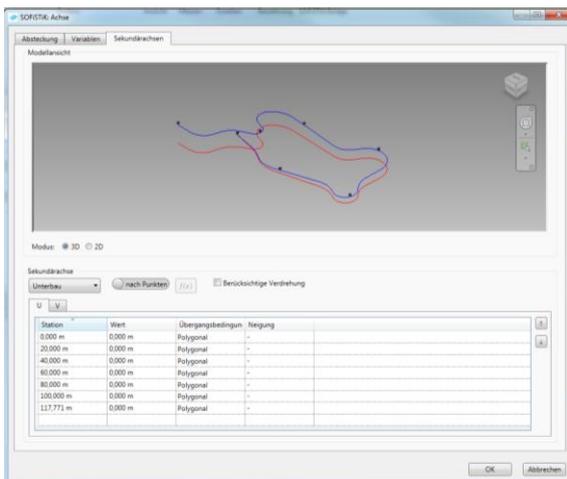


Abbildung 28: Sekundärachsenbeispiel (eigene Darstellung)

Zur Veranschaulichung der Potentiale von Sekundärachsen betrachten wir das Beispiel aus Abbildung 28. Es wird eine Sekundärachse unterhalb der Achse der Fußgängerrampe platziert. Die Trassierung der Sekundärachse erfolgt schlicht über die Festlegung der Vertikalkomponente auf ,0'. Die Sekundärachse dient als Referenz für die Fußpunkte der Stützen. So können die Stützen ohne Aufwand in der benötigten Höhe erstellt werden (siehe Abbildung 27) indem die Fußpunkte mit der Sekundärachse verknüpft werden.

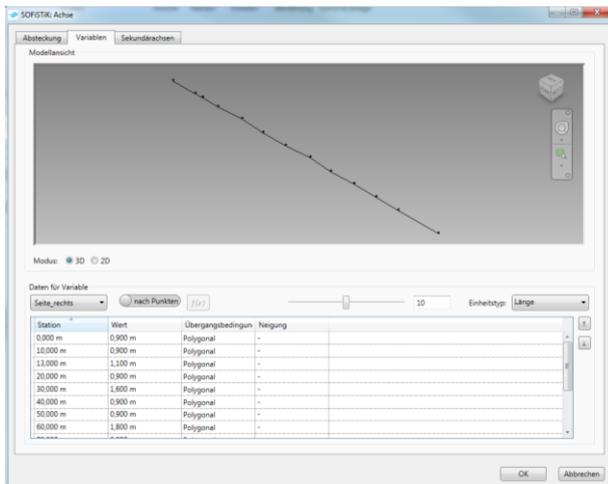


Abbildung 29: Variablenbeispiel (eigene Darstellung)

Das Variablenbeispiel aus Abbildung 29 bezeichnet die Höhe des „rechten“ Rampenquerschnitts. AN Maßgebenden Stellen werden hier Variablenwerte definiert. Diese lassen sich den Familienparametern der Querschnittsfamilie zuweisen. Der Interpolationstyp zwischen den maßgebenden Stellen wird hier als ‚Polynomial‘ angesetzt. Dies wurde auch mit weiteren Variablen für wandere Abmessungen des Querschnittes durchgeführt. Daher entsteht der stark variierende Querschnitt der Fußgängerrampe aus Abbildung 27.

3.1.3.2 Überbauten

Anders als im Ingenieurbau allgemein üblich bezeichnet der Begriff „Überbauten“ bei SOFiSTiK nicht die ganze Brückenkonstruktion oberhalb der Widerlager, sondern diverse Arten von achsengebundenen Extrusionsvolumina. Bei Bedarf können neben Brückenplatten auch Trägersysteme, Böschungen oder Kappen mit Hilfe der Überbaufunktion erzeugt werden.

Bezüglich der Modellierung beschreiben die Überbauten ein 2-dimensionales adaptives Modell, welches entlang einer ihm zugewiesenen Achse, inklusive Sekundärachsen und Variablen, als Volumenkörper extrudiert wird.

Die Parameter, welche für einen Überbau einstellbar sind, setzen sich zum einen aus den numerischen Familienparametern des adaptiven Modells und zum anderen aus den für Überbauten vorgesehenen Eigenschaften zusammen:

- Familienname
- Startplacement (Von)
- Endplacement (Bis)
- Material
- Placementdrehung
- Eigenschaften
- Überschneidungsverhalten

- Anpassung an Zwischenplacements.

Weitere geometrische Attribute können über das Querschnittsprofil zugewiesen werden, textartige Attribute nicht.

Da den numerischen Parametern anstatt fester Werte auch Achsenvariablen oder Sekundärachsen zugewiesen werden können, ist eine einzige Überbaufamilie in der Lage, eine Vielzahl an konkreten Realisierungen zu repräsentieren.

Zusätzlich gibt es die „Zuweisung im Querschnitt“-Funktion, welche unter Mengenermittlung zu finden ist. Mittels dieser können die entsprechenden Querschnittsfamilien um gemeinsam genutzte Parameter erweitert werden, sofern es sich um geometrische Attribute handelt.

Semantische Attribute wie beispielsweise Expositionsklassen können nicht zugewiesen werden.

3.1.3.3 Unterbauten

Bei Unterbauten handelt es sich um 3-dimensionale Objekte, welche an Placements einer Achse platziert werden können. Im Falle der Vorentwurfsmodelle wurden die Widerlager sowie die Böschungsenden als Unterbauten modelliert. Generell kann diese Vorgehensweise auch auf Stützen oder Brückenaufleger angewendet werden.

Für Unterbauten können wieder die numerischen Familienparameter des adaptiven Modells festgelegt werden sowie auch nichtnumerische Familienparameter wie beispielsweise das zu verwendende Material. Abweichend von der Methodik bei Überbauten sieht SOFiSTiK dies allerdings nicht als Teil der Struktur fest vor. Auch können die numerischen Parameter nicht mit Variablen oder Sekundärachsen der Brückenachse verknüpft werden.

Ergänzend zu den Familienparametern des adaptiven Modells können noch der Versatz des Objektes und die Verdrehung um die Achsen gesetzt werden und müssen nicht bereits im adaptiven Modell enthalten sein. Des Weiteren können bzw. müssen die Placements für die Unterbauten gewählt werden.

Das Fehlen der oben genannten Verknüpfungsmöglichkeit und die Tatsache, dass Unterbauten an Placements „gebunden“ sind, führen dazu, dass es gegebenenfalls sinnvoll sein kann, Objekte als Querträger zu modellieren, obwohl es sich eigentlich um Unterbauten handelt.

3.1.3.4 Querträger

Unter die Kategorie „Querträger“ fallen die Aussteifungen und Verbindungselemente einer Brücke, in diesem Fall aber auch Bauteile mit variablen Abmessungen, welche - anders als ein Überbau oder Träger - nicht als Extrusion zu verstehen sind.

Querträger können sowohl achsen- als auch placementorientiert sein. Das bedeutet, sie können an den entsprechenden Stellen oder in festgelegten Mengen/Abständen entlang einer Achse platziert werden. Im Gegensatz zu Unterbauten können Querträgerabmessungen mit variablen und formgebenden Punkten mit Sekundärachsen verknüpft werden, wodurch sich Stützen variabler Höhe schnell und unkompliziert modellieren lassen. SOFiSTiK behandelt Querträger in dieser Hinsicht also wie Überbauten.

Als Beispiel hierfür dienen die Stützen der Rampe aus Abbildung 27. Die Stützen hätten als Unterbauten modelliert werden können, aber da die Höhen der Stützen in jedem Punkt anders ausfallen, müssten sie an jedem Punkt einzeln eingefügt werden. Stattdessen wurden sie hier als Querträger modelliert, bei welchem der untere „formgebende Punkt“ mit einer Sekundärachse verknüpft ist, welche die Höhe darstellt. Alternativ hätte man, statt die Querträger an den Placements zu platzieren, auch festlegen können, dass die Stützen in festen Abständen platziert werden. Querträger sind mittels SOFiSTiK also sehr vielseitig einsetzbar.

3.1.3.5 Träger und Trägerlayouts

Träger sind als achsorientierte adaptive Bauteile implementiert. Ein separat modellierter Querschnitt wird zwei über eine Referenzachse verbundenen adaptiven Punkten zugewiesen und ein Volumen erzeugt. Der Träger wird einem Trägerlayout zugewiesen und entlang dessen erstellt. Hierbei handelt es sich um eine „Erweiterung“ der Brückenachse. Für jeden Überbauquerschnittstyp sollte ein eigenes Trägerlayout erstellt werden. Diese geben an, wo die Trägerachsen entlang eines Querschnittes platziert werden können. Die Zahl der Träger, ihre Abstände und Ausrichtung werden hier ebenfalls festgelegt.

Bei der Modellierung von Trägern sind mehrere Punkte zu beachten:

- Das Material des Trägers muss als eigener Familienparameter erstellt werden. Anders als bei Überbauten ist das Material hier nicht vorimplementiert.
- Soll ein Träger mit entlang seines Verlaufes variablen Abmessungen modelliert werden, muss bei der Erstellung des adaptiven Bauteils an jeder maßgebenden Stelle ein Exemplar des Trägerquerschnittes platziert und mit eigenen Familienparametern versehen werden. Die Abmessungen des Trägers werden zwischen diesen Stützplatzierungen interpoliert.
- Sofern man den Träger entsprechend der von SOFiSTiK auf (53) bereitgestellten Videos modelliert, sind sie in ihren Abmessungen nicht bzw. nur in ihrer Mitte anpassbar. Die Abmessungen an den Enden des Trägers bleiben unverändert.
- Sollte man die Träger entsprechend der Videos derart modellieren, dass sie schräg abgeschnitten werden, kann der Schnittwinkel als einziger Parameter angepasst werden.
- Falls die in SOFiSTiK vorhandenen Modellierungsmöglichkeiten für Träger für ein vorgegebenes Ziel nicht ausreichen, kann man Träger auch als Überbauten modellieren, d.h. als 2D-Querschnitt, der entlang einer Achse extrudiert wird.

3.1.3.6 Kappen

Kappen ähneln in ihrer Struktur den Überbauten. Sie werden als 2D-Querschnitte modelliert, allerdings mit drei adaptiven Punkten. Anstatt anhand einer einzigen Achse erfolgt die Extrusion entlang von drei linearen Kanten.

Wie für die anderen Querschnittsfamilien, aus denen Extrusionen erzeugt werden sollen, ist die Attribuierung auch hier eingeschränkt. Zwar kann die Attribuierung mit Hilfe der „Zuweisung im Querschnitt“-Funktion um geometrische Attribute erweitert werden, wohingegen nicht geometrische Attribute auf das vorimplementierte Attribut Material beschränkt sind.

Bei komplexeren Volumina, an welchen eine Kappe platziert werden soll, kann es allerdings zu Problemen bei der Erzeugung von Kappen kommen. Entsprechend müssen Alternativen wie die Modellierung der Kappen als Überbauten oder die Modellierung als allgemeine adaptive Bauteile angewendet werden (wie auch in den nachfolgenden Modellen geschehen).

3.1.3.7 Geländer

Geländer werden wie alle anderen Elemente als adaptive Bauteile erstellt. Hierbei erfolgt die Orientierung anhand von, dem Geländer zugewiesenen Achsen/Linien. Anders als bei regulären Revit-Geländern können für diese Achsen/Linien die Begrenzungslinien der Modellkomponenten gewählt werden. Die Geländer werden über die Länge der Teilkomponenten gesteuert. Semantische Attribute wie Material oder Bezeichnungen werden durch SOFiSTiK nicht unterstützt, da diese Informationen als herstellerspezifische Angaben betrachtet werden. Die Start- und Endelemente der Geländer können beliebig zugewiesen werden.

3.1.3.8 Gelände

Gelände bieten dem Anwender in SOFiSTiK die Möglichkeit eine Topographie in einen Volumenkörper zu überführen. Ohne dieses Tool müsste ein Anwender zur weiterführenden Nutzung der Topographie mit zusätzlicher Geosoftware arbeiten oder die Topographie mit Dynamo-Komponente in Revit konvertieren.

Bei der Erstellung eines Geländes können unter anderem die Tiefe des zu erzeugenden Körpers und das Material zugewiesen werden.

3.1.3.9 Längsschnitte, Querschnitte, Draufsichten

Hierbei handelt es sich um Werkzeuge zur Ableitung der 2D-Pläne aus dem 3D-Modell. Die drei vorhandenen Ansichtsoptionen erlauben es, die gewünschten 2D-Pläne zu erstellen, ohne sie auf umständliche Weise über die in Revit vorhandenen Werkzeuge annähern zu müssen. Die erstellten Schnitte und Draufsicht können problemlos um Maße und Beschriftungen erweitert und in Planformate gebracht werden.

3.1.4.10 Geteilte Modelle

Für alle adaptiven Modelle muss die Überlegung angestellt werden, ob es sich um geteilte Modelle handeln soll. Zur Erläuterung betrachten wir einen Träger.

Annahmen:

- Der Träger ist über zwei Instanzen eines Querschnitts an den Enden modelliert.
- Das allgemeine adaptive Modell des Querschnitts ist als geteilt definiert.

Werden unter Maßgabe dieser Annahmen fünf Träger dieses Typs erstellt, werden zusätzlich für jeden Träger auch zwei Instanzen des Querschnittes erzeugt und gespeichert.

Bei größeren Mengen geteilter Bauteile z.B. Geländerkomponenten entlang einer langen Brücke (mehrere hundert Querschnitte) kann das die Bearbeitung eines Modells stark verlangsamen.

Wenn eine Bauteilliste für adaptive Modelle erstellt wird, werden also auch alle Querschnitte mit aufgelistet. Will man basierend auf der Bauteilliste eine Mengenermittlung durchführen, muss man die Querschnitte erst durch Filter aussortieren. Für eine solche Modellierung ist das geteilte Modell daher ungeeignet.

Gleichzeitig kann es sinnvoll sein, manche Modelle als geteilt zu definieren. Das kann der Fall sein, wenn man zum Beispiel das Volumen eines Widerlagerfundamentes getrennt vom Volumen des gesamten Widerlagers separat auswerten möchte.

Wichtig ist nur, dass vor der Modellierung die Überlegung für die Modellkomponenten getroffen wird, da es einiges an Aufwand bedeuten kann, dies zu ändern. Will man geteilte Modelle in „nicht geteilt“ umwandeln, muss es als neues Modell gespeichert und daher im Hauptmodell neu eingefügt und mit Parametern versetzt werden.

3.1.4. STANDARDISIERUNGSANSÄTZE

Wie bereits zuvor diskutiert ist die Standardisierung von großer Bedeutung für die Nutzung der BIM-Methodik im Bereich der Infrastruktur. Daher wurden auch in dieser Arbeit Überlegungen theoretischer Natur und im Zuge der Modellierung der Brückenvorentwürfe auch solche „praktischer“ Natur durchgeführt. Auf die praktischen Überlegungen soll hier eingegangen werden.

Ausgangspunkt der praktischen Überlegungen ist der parametrisierte Entwurf. Er erlaubt es, Bauteile inklusive ihrer Abmessungen (wie beispielsweise Stützweite, Bauteildicken, lichte Höhe, lichte Weite, etc.) individuell an die geforderten Randbedingungen anzupassen ohne dass sie neu erstellt werden müssen.

Bei der Erstellung der Bauteile wird also zunächst ein Schema angefertigt, welches die Geometrie möglichst allgemein widerspiegelt. So ist das Widerlager in den Modellen nur

mit parallelen Flügeln eingesetzt, wohingegen die Widerlagerfamilie derart modelliert wurde, dass jeder Flügel einen beliebigen Winkel zur Front haben kann.

Da es das Ziel war, eine möglichst große Wiederverwertbarkeit der Familien zu schaffen, wurde diese Vorgehensweise auch für die anderen Familien gewählt, d.h. die meisten Familien haben deutlich mehr Parameter und Variationen als es für die konkreten Modelle notwendig gewesen wäre.

Zusätzlich wurde die Attribuierung des Modells soweit dies softwaretechnisch möglich war an das Konzept aus 2.6.2 angepasst.

3.2. DIE MODELLIERTEN VARIANTEN

3.2.1. KONZEPTION UND MODELLANFORDERUNGEN

Im Zuge dieser Arbeit wurden zwei Vorentwurfsvarianten für den Neubau einer Brücke über eine zweigleisige Eisenbahntrasse im Norden der Stadt Jena modelliert. Die Brücke ist Teil der Neutrassierung der B88 im Stadtteil Zwätzen. Die Planung und insbesondere Trassierung erfolgen unter Berücksichtigung des Hochwasser- und Umweltschutzes (54).

Zu Beginn der Arbeit an den Vorentwürfen wurden Trassierungsvarianten der Straßen mit unterschiedlicher Achsführung ins Auge gefasst. Im weiteren Verlauf erfolgte die Festlegung auf eine einzige Achsführung, bei der die Straße die Eisenbahnstrecke möglichst rechtwinklig kreuzt und somit die geringste Stützweite entsteht. Die beiden weiterverfolgten Varianten der Brücke und die zugehörigen Modelle unterscheiden sich daher lediglich in ihrem Tragkonzept.

Ein Modell beschreibt eine Stahlverbundbrücke mit Stahlhohlkastenträgern. Im zweiten Modell werden Spannbetonfertigteilträger verwendet.

Der Verlauf der Straße und der Brücke folgt der Vorzugsvariantenachse Lage Mitte. Die Brücke besteht aus einer geneigten Stahlbetondecke, welche durch ein Trägersystem gestützt wird. Die beiden betrachteten Varianten unterscheiden sich wie bereits erwähnt, hinsichtlich des Trägersystems.

Die Abmessungen des Querschnitts ergeben sich aus den Fahrbahnanforderungen der Leistungsbeschreibung der Stadt Jena. Wichtig ist hier der Fahrradweg, welcher in Form einer breit ausgeführten Kappe in den Entwürfen umgesetzt wird.

Da Brücke in beiden Modellen als Rahmenbauwerk konzipiert wird, entfallen etwaige Brückenlager.

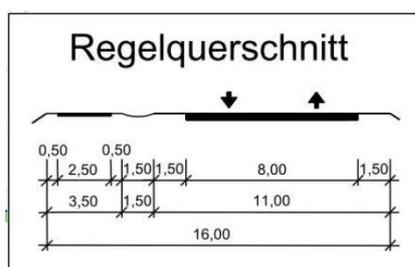


Abbildung 30: Regelquerschnitt entsprechend des Erläuterungsberichts der Stadt Jena

Die Brückenplatte und die Träger enden in zwei typgleichen Widerlagern. Entlang der Straßenführung wird zusätzlich die Böschung angenähert.

Die Modellvarianten sind für eine LPH 2 konzipiert. Daher ist der LOD am Konzept aus 2.6.2 ausgerichtet.

Anhand der Modelle soll ein visueller Vergleich der Vorentwurfskonzepte, eine Mengenermittlung und Kostenschätzung (siehe 3.4) sowie eine Erläuterung der BIM-gestützten Planableitung erfolgen. Angelehnt an das LOD-Konzept wurden die Bauteile in ihren Abmessungen an ihren ungefähren Positionen modelliert.

Abgesehen von den Geländern enthalten alle Bauelemente die folgenden Attribute:

- Das Volumen
- Das Material inklusive Stahl- bzw. Betongüte
- Der Typ
- Das Kosten-Attribut, welches Revit automatisch einfügt, wird hier als Einheitspreis verwendet.

Aufgrund der eingeschränkten Attribuierungsmöglichkeiten der extrudierten Modellkomponenten ist das Attribut ‚Expositionsklasse‘ nur für die Widerlager und die Träger des Spannbetonfertigteilentwurfes gegeben.

Abweichend von dem in 2.6.2 entworfenen Konzept sind die Geländer und passiven Schutzeinrichtungen nicht schematisch oder als Bounding Box dargestellt, sondern mittels detaillierterer Geländermodelle. Der Grund hierfür ist, dass Geländer- und Leitplanckenmodelle im Zuge der Einarbeitung in das SOFiSTiK Plug-in erstellt wurden.

Eine Weiterverwendung der Modelle für die LPH3 bietet sich an. Dazu müssten zum einen die Modellkomponenten um entsprechende Attribute erweitert werden, zum anderen müsste das Modell geometrisch um eventuell benötigte Leitungen, Entwässerungseinrichtungen und schematische Übergangskonstruktionen ergänzt werden.

3.2.2. VARIANTE 1: STAHLVERBUNDBAU

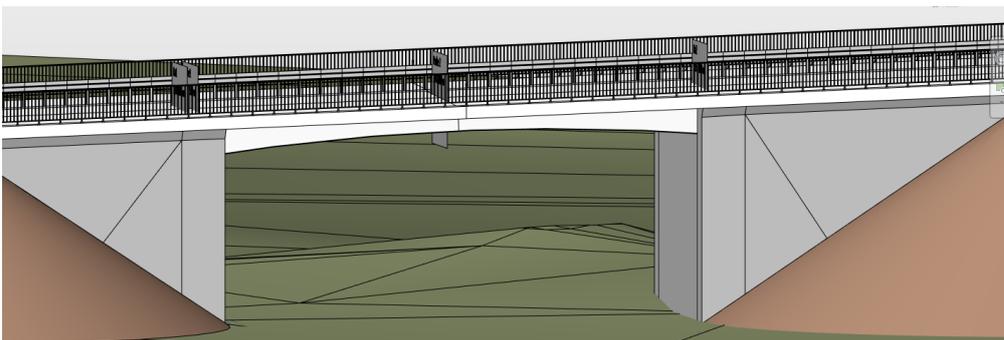
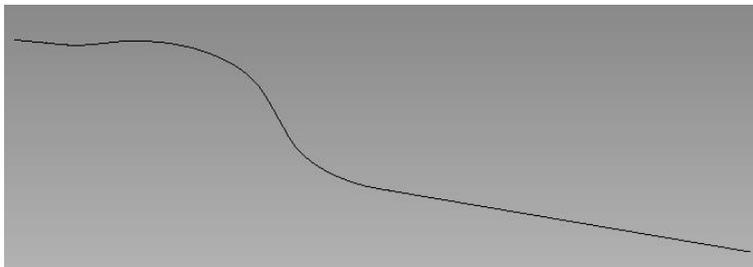


Abbildung 31: Ansicht der Stahlverbundbrücke (eigene Darstellung)

Zunächst werden jene Modellkomponenten beschrieben, welche in beiden Varianten enthalten sind. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung der variantenspezifischen Komponenten.

Die Achse

Die Achse, die den Verlauf der Brücke und der Straße modelliert, wurde entsprechend der in Abschnitt „3.1.3.1 Achsenmodellierung“ vorgestellten Überlegungen modelliert. Hierbei wurde die Achsführungen, welche von der IPROconsult Abteilung Verkehrsplanung erarbeitet wurden, genutzt.



Art	Länge	Startradius	Endradius	Station
Linie	701,000 m	0,000 m	-	701,000 m
Klothoide	40,000 m	0,000 m	-250,000 m	741,000 m
Bogen	219,000 m	-250,000 m	-100,000 m	960,000 m
Linie	40,000 m	-	-	1000,000 m
Bogen	84,000 m	0,000 m	100,000 m	1084,000 m
Klothoide	40,000 m	250,000 m	0,000 m	1124,000 m
Bogen	301,000 m	250,000 m	-100,000 m	1425,000 m
Klothoide	40,000 m	0,000 m	100,000 m	1465,000 m
Klothoide	40,000 m	-250,000 m	0,000 m	1505,000 m
Klothoide	39,000 m	-250,000 m	-100,000 m	1544,000 m
Linie	40,000 m	-	-	1584,000 m
Linie	58,000 m	-	-	1642,000 m

Station	ID	Typ
0,000 m	Str1	Auflager
701,000 m	Str2	Auflager
741,000 m	Str3	Auflager
960,000 m	Str4	Auflager
1016,359 m	Widerlageranpassung 1	Auflager
1030,000 m	Ba1	Auflager
1030,500 m	Probe1	Auflager
1042,000 m	Probe 2	Auflager
1054,000 m	Ba2	Auflager
1071,100 m	Widerlageranpassung 2	Auflager
1123,953 m	Str5	Auflager
1425,229 m	Str6	Auflager
1465,229 m	Str7	Auflager
1505,229 m	Str8	Auflager
1544,204 m	Str9	Auflager
1584,204 m	Str10	Auflager
1642,216 m	Str11	Auflager

Abbildung 32: Horizontale Ansicht der Achse sowie die horizontale Trassierung und die Placements (eigene Darstellung)

Die horizontale Trassierung erfolgt hier über die in Abbildung 32: Horizontale Ansicht der Achse sowie die horizontale Trassierung und die Placements (eigene Darstellung) dargestellte Abfolge von Linien, Bögen und Klothoiden. Die vertikale Trassierung geschieht über die parabelförmige Interpolation gegebener Stützwerte.

Die Achse ist durch die Placements Str1 - Str4, Widerlageranpassung1&2, Ba (Brückenabschnitt) 1&2 und Probe 1&2 strukturiert.

- Die ‚Str‘ stellen die regulären Straßenbereiche analog zur Trassierung dar.
- Ba 1&2 sind der Anfangs- und Endpunkt der Brücke
- Probe 1&2 dienen als Hilfspunkte zur einfachen Erzeugung von Querschnitten
- Widerlageranpassung 1&2 ermöglichen die Anpassung der Böschung an die Widerlagerlängen. Die Böschung wird ab den Enden der Widerlagerflügel nicht mehr über einen Überbau, sondern über Unterbauten modelliert. Die Placements können zwar nicht mit den Widerlagerflügel gekoppelt werden, sind jedoch die einfachste Möglichkeit die Böschungen flexibel anzupassen.

Erweitert wird die Achse um die Variablen Böschungshöhe, Böschungsbreite und Neigung, welche über Stützwerte interpoliert werden.

Das Geländemodell

Das Geländemodell ist jenes, welches bereits in 3.1.1 beschrieben wurde. Wie dort ausgeführt wurde der Versuch unternommen, die Böschung derart zu simulieren, dass man anhand des Modells eine Mengenermittlung/Schätzung der benötigten Erdmasse durchführen kann.

Hierfür war es das Ziel die Böschung um die Topographie „boolsch“ zu reduzieren.

Da die Revit-Topographien diese Funktion nicht anbieten, wurde die Topographie mittels des SOFiSTiK-Tools ‚Gelände‘ (**3.1.3.8 Gelände**) in einen Volumenkörper überführt, welcher „boolsch“ von den Böschungskörpern ausgeschnitten wurde.

Böschung

Wie in 3.1.1 beschrieben wurde die Böschung als Überbau und an den Brückenenden als Unterbauten angenähert. Hierbei wurde der Einfachheit halber die Böschungshöhe als Variable und nicht als verknüpfte Sekundärachse mitgegeben.

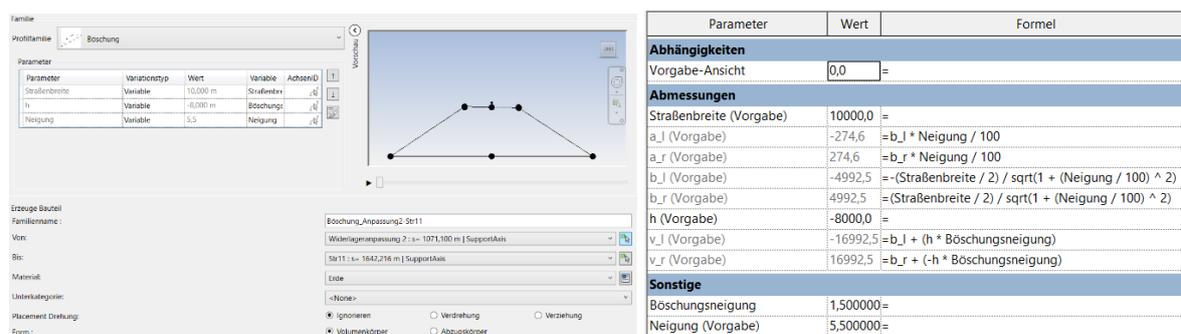


Abbildung 33: Böschungsquerschnitt mit Wertzuweisung sowie Beispiel der Querschnittsparameter (eigene Darstellung)

Wie Abbildung 33 zeigt, ist der Querschnitt der Böschung ein trapezartiges Viereck, welches sich an einem adaptiven Punkt in der Mitte der Böschungsoberkante orientiert. Die Form des Vierecks wird über 7 Referenzpunkte (1xHöhe, 4xBreite, 2xNeigung) gesteuert. Die Eingabeparameter sind die Straßen-/Oberkantenbreite, die Böschungshöhe und die Neigung der Fahrbahn und Böschung.

Alle weiteren Werte, welche für die Formgebung benötigt werden, sind aus diesen Werten abgeleitet.

Um eine möglichst genaue Mengenermittlung zu unterstützen, wurde die Böschung in unterschiedlich große Abschnitte unterteilt. Dieses Vorgehen war nötig, da in Revit in manchen Fällen Schwierigkeiten mit boolschen Operationen auftreten. Das Ausschneiden der Überschneidungen der Böschungen mit dem Gelände stellt einen solchen Fall dar. Die Funktion wurde im Bereich Widerlageranpassung 2 - Str11 korrekt durchgeführt. Wenn dagegen für den Bereich Str1 - Widerlageranpassung 1 eine durchgehende Extrusion

modelliert wird, liefert Revit falsche Ergebnisse. Das Problem kann umgangen werden, indem man die Böschung zwischen den einzelnen Placements einzeln erzeugt.

Die beschriebene Vorgehensweise bedeutet bei der Mengenermittlung zwar ein Zusammenfügen mehrerer Summanden (jeder Abschnitt hat ein einzelnes Volumen), liefert dafür aber ein genaueres Ergebnis.

Die Materialzuweisung erfolgt über den vorgesehenen Slot für Überbauten. Wie bereits in **3.1.3.2 Überbauten** beschrieben können textbasierte Parameter wie Objektbezeichnung nicht zugewiesen werden.

Die Widerlager an den Enden sind wie bereits erwähnt durch Unterbauten modelliert. Hierbei wird zwischen der linken und der rechten Seite unterschieden, auch wenn die beiden Unterbauten im konkreten Fall spiegelverkehrt zueinander modelliert wurden.

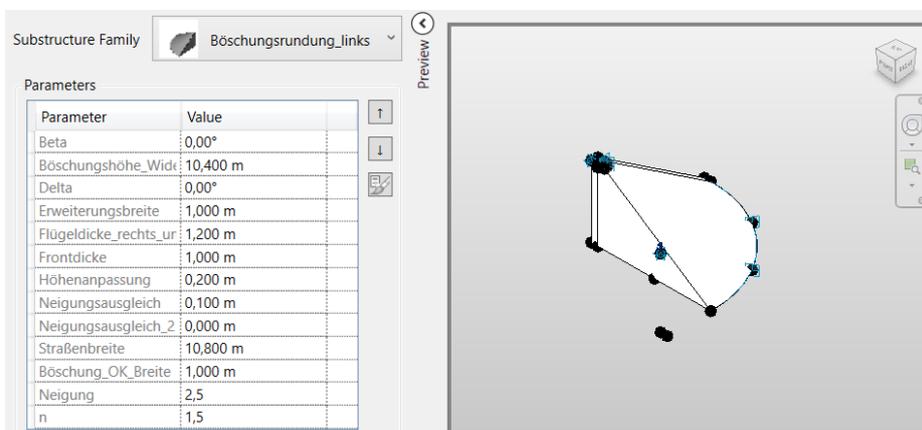


Abbildung 34: Böschungsrundung links mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Die Geometrie ist ein Volumenkörper, der zwischen zwei geometrisch ähnlichen Flächen erzeugt wird. Die Flächen bestehen aus einem Viertelkreis und einem daran anschließenden Rechteck (vgl. Abbildung 34).

Als Parameter können für die Böschungsrundungen alle Abbildung 34 aufgeführten Angaben mitgegeben werden. Im adaptiven Modell selbst ist noch eine Vielzahl von sich daraus ableitenden Parametern vorhanden, welche unter anderem zur Erzeugung der Kreisformen benötigt werden.

Der Winkel Beta der Böschungsrundung stellt hier das Gegenstück zum Winkel Beta des Widerlagers dar, der Winkel Delta die Anpassung an die Böschung für den Fall, dass die Rundung nicht rechtwinklig dazu stehen sollte.

Da die Widerlagerflügel nicht gleich lang sein müssen und entsprechend die Böschungsrundungen

unterschiedlich lang/hoch sein können, wurden die Böschungsrundungen um eine Anpassung erweitert, die einen nahtlosen Anschluss an den Böschungs-„Überbau“ erlaubt. Zusätzlich zu den geometrischen Werten wurden die Unterbauten (also die Böschungsrundungen) mit den Attributen

- Objektbezeichnung (für eine bei Bedarf eigene Klassifizierung)
- Material (im Modell als Erde zugewiesen)

in Form von gemeinsam genutzten Parametern versehen.

Anmerkung: Beim Öffnen der Unterbauten ‚Böschungsrundung‘ kommt es zu einer Fehlermeldung, wenn $\beta = 0$ oder die Anpassungslänge $= 0$ ist. Diese Fehlermeldung kann ignoriert werden.

Ursache für die Fehlermeldung ist, dass in diesen Fällen mehrere Punkte des Modells aufeinander liegen. Dies hat aber keinerlei Auswirkung auf das Modell oder die aus der Geometrie abgeleiteten Werte.

Widerlager

Für die Widerlager wurde eine Unterbaufamilie angelegt (vgl. Abbildung 35). Das Ziel war es, eine Vorlage zu schaffen, welche in möglichst vielen geometrischen Parametern angepasst werden kann. In Abbildung 35 kann ein kleiner Ausschnitt der Geometrischen Parameter betrachtet werden.

Die Familie setzt sich aus vier Teilfamilien zusammen:

- Widerlagerwand
- linke Flügelwand
- rechte Flügelwand
- Fundament

Hierbei können unter anderem sämtliche Teilabmessungen (Höhen, Breiten, Neigungen) sowie die winkelbezogenen Ausrichtungen des Widerlagers den Bedürfnissen eines Projektes entsprechend angegeben werden. Es gilt lediglich die Einschränkung, dass das Fundament eine über den gesamten Verlauf konstante Höhen haben muss.

Da die Längsneigung einer Straßenachse nicht immer über einen konstanten Winkel festgelegt werden kann, erfolgt die Anpassung der Höhen der Enden der Flügelwände über „Längen“-Korrekturfaktoren.

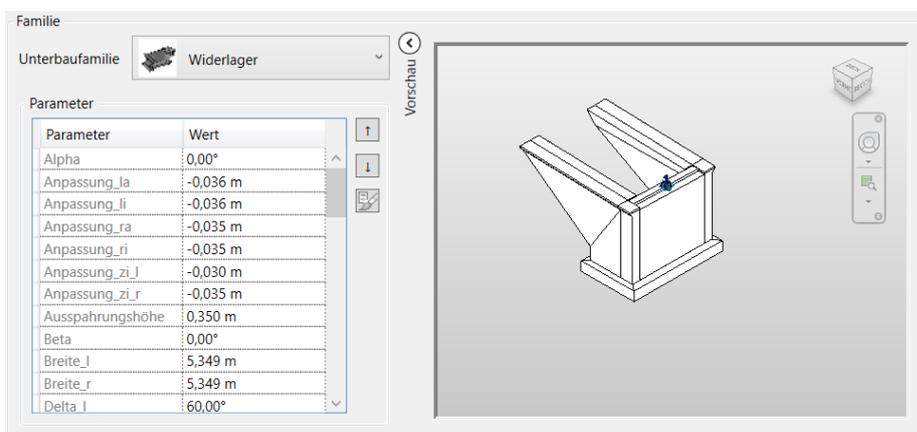


Abbildung 35: Widerlager Ba2 mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Die, über geometrische Kennwerte hinausgehende Attribuierung enthält entsprechend des Konzeptes aus 2.6.2

- Materialien, wobei zwischen dem Material der Wände und dem Material des Fundaments unterschieden wird.
- Die Expositionsklasse.

Das Modell für die Erdmasse der Hinterfüllung zwischen den Flügelwänden orientiert sich am Modell für das Widerlager selbst. Mögliche Überschneidungen des Widerlagers können in den meisten Fällen durch „boolsche“ Methoden bereinigt werden.

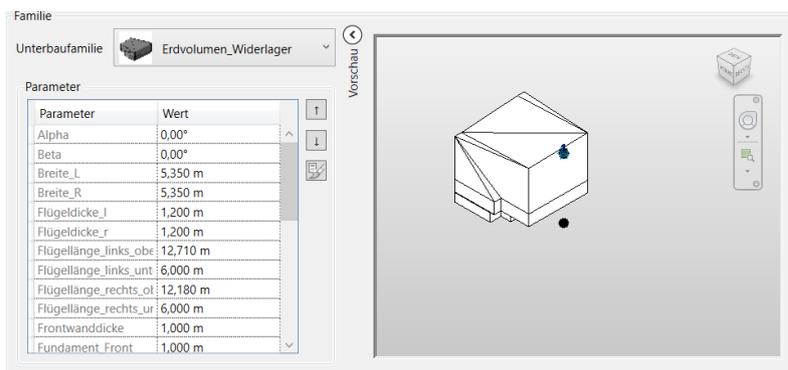


Abbildung 36: Erdvolumenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Die Parameter für das Erdvolumen sind eine Teilmenge der Widerlagerparameter.

Brückenplatte

Die Brückenplatte wird als Überbau modelliert. Die Attribuierung erfolgt analog zur Böschung.

Wie in Abbildung 37 zu sehen ist, können verschiedenen Höhen, die Platten- und Kappenbreiten, sowie die Neigungen der Oberkante, Unterkante, sowie der Kragarme gewählt werden.

Hierbei ist zu beachten, dass wie auch bei der Böschung die Straßenbreite nicht die horizontale Komponente der Breite, sondern die wirkliche Breite der Platte darstellt (abzüglich der Kappen). Dies soll es vereinfachen, Vorgaben aus Regelquerschnitten anzuwenden, ohne zuvor die Werte umrechnen zu müssen. Die für die Positionierung der formgebenden Referenzpunkte benötigten Parameter werden aus den genannten Parametern abgeleitet.

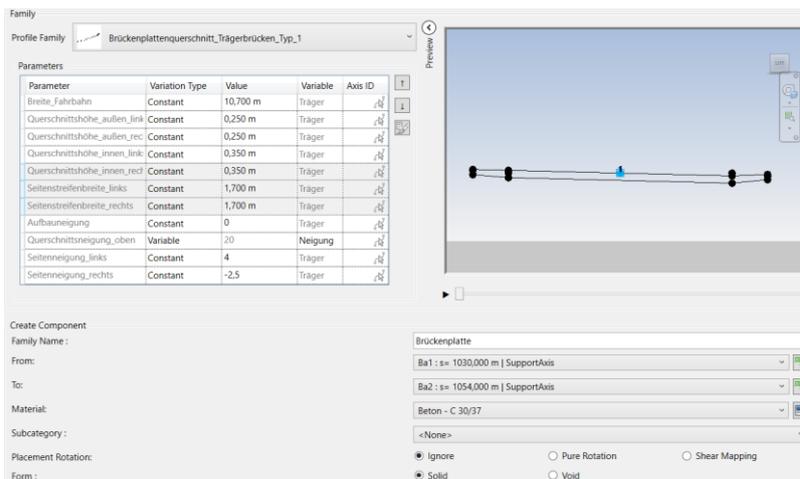


Abbildung 37: Brückenplattenquerschnitt mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Die im Modell angesetzten Abmessungen stammen aus der Vorbemessung (siehe Abbildung 38). Die Neigung wird über die Achsvariable zugewiesen. Dadurch könnte auch ein möglicher Neigungswechsel entlang des Brückenquerschnitts modelliert werden. Auch kann bei Bedarf eine weitere Neigung angegeben werden, falls der Straßenquerschnitt als Dachprofil ausgeführt wird.

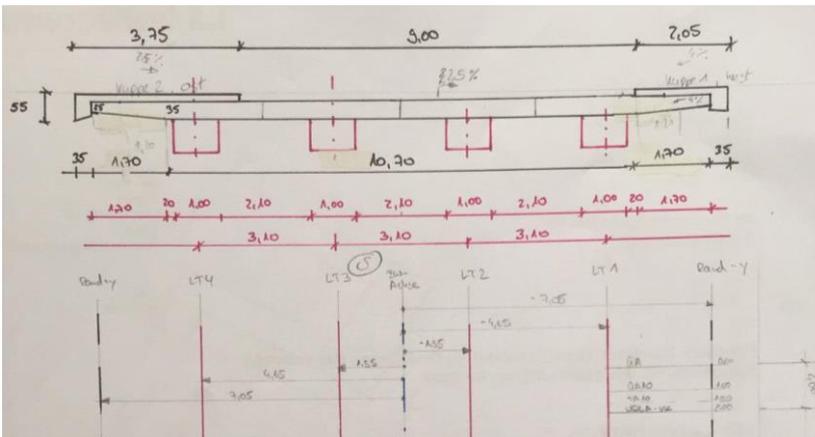


Abbildung 38: Querschnittsbemessung durch die Tragwerksplanung entsprechend der IPROconsult

Mittels der Funktion „Zuweisung im Querschnitt“ wurde die Querschnittsfamilie der Brückenplatte um das Attribut ‚Mengenermittlungsfläche‘ erweitert. Dieses Attribut wird in der Mengenermittlung zur Bestimmung der Mengen für die Überbauabdichtung benötigt.

Straßenaufbau und Frostschutzschicht

Wie die Brückenplatte wird auch der Straßenaufbau als Überbau modelliert. Da das Modell für die LPH 2 ausgelegt ist, beschränkt sich die Modellierung auf eine Darstellung der Asphalt- und der Frostschutzschicht. Weitere Schichten eines Straßenaufbaus werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

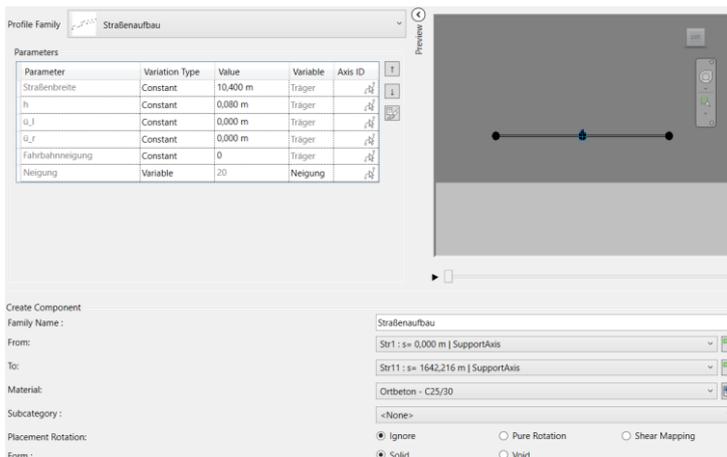


Abbildung 39: Straßenaufbauquerschnitt und Wertzuweisung (eigene Darstellung)

In Abbildung 39 ist zu sehen, dass die Neigung der Straße als Achsenvariable zugewiesen wurde und im Verlauf der Straße variiert. Die Neigung wird an den Rändern des Querschnitts berücksichtigt.

Für diese LPH 2 wird angenommen, dass der Straßenaufbau nicht als Dach-Profil, sondern als in eine Richtung geneigter Rechteckquerschnitt erfolgt. Über das Attribut ‚Fahrbahnneigung‘ kann dies jedoch angepasst werden.

Die Querschnittsfamilien wurden, wie der Brückenplattenquerschnitt, über die „Zuweisung im Querschnitt“-Funktion um das Attribut Mengenermittlungsfläche erweitert. Dies liegt darin begründet, dass Asphalteinheitspreise pro m² angegeben werden.

Auf Basis der gleichen Überlegungen wurde die Frostschutzschicht modelliert. Hierbei wurde jedoch auf den Aspekt einer zusätzlichen Neigung verzichtet (die Frostschutzschicht passt sich innerhalb des Modells nicht an eine potenziell darüber befindliches Dachprofil an). Das heißt, es handelt sich um ein in Abhängigkeit von der Straßenneigung geneigtes Pultprofil.

Als problematisch erwies sich, dass Revit bei den „booleschen“ Operationen fehlerhafte Ergebnisse lieferte und die Frostschutzschicht nicht aus der Böschung herauschnitt. Dies musste bei der späteren Mengenermittlung berücksichtigt werden.

Kappen

Wie in **3.1.3.6 Kappen** erwähnt kann es bei komplexeren Geometrien zu Problemen bei der Nutzung des Kappentools kommen. Dies trat auch im Fall der Widerlager ein, an welchen sich die Kappen nur teilweise und nicht korrekt platzieren ließen. Daher musste ein anderer Lösungsansatz zur Modellierung der Kappen genutzt werden.

Für dieses Projekt wurden die Kappen mittels Überbauten angenähert. Dies brachte, neben der vergleichsweise simplen Modellierung eines 2D-Querschnitts, der nur extrudiert wird, noch einen weiteren Vorteil: Die Kappen können jeweils vom Beginn des Widerlagers

an Ba1 bis zum Ende des Widerlagers Ba2 als eine Modellkomponente erzeugt werden. Änderungen der Achse werden automatisch eingearbeitet.

Anstatt also pro Seite (links/rechts) jeweils vier Kappenkomponenten, ergeben sich lediglich zwei. Hierdurch wird unter anderem die Mengenermittlung vereinfacht.

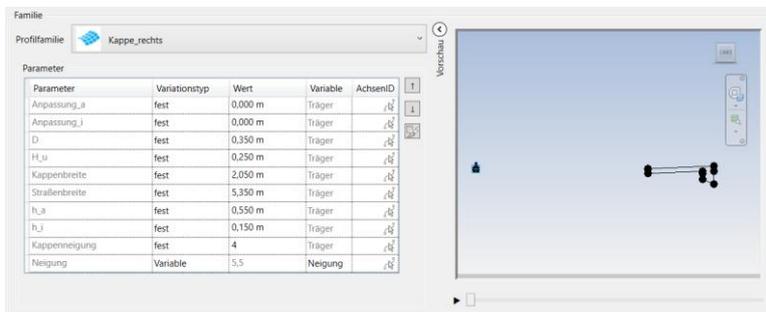


Abbildung 40: Kappenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Der zu extrudierende Querschnitt wird über den Abstand der Kappe zur Achse sowie die Kappenabmessungen gesteuert. Es werden sowohl die Neigung der Straße als auch die Neigung der Kappe berücksichtigt. Als Überbau ist die Attribuierung auf den Namen, das Volumen und das Material beschränkt sowie die Revitvorgaben Kosten/Einheitspreis und Elementtyp.

Brückengeländer und Leitplanken

Wie in 3.2.1 bereits erwähnt wurde, sind die Geländer und Leitplanken für die Zielsetzung des Modells bereits zu detailliert. Da sie aber bereits erstellt waren, wurden sie dennoch genutzt und werden als Teil des Modells nachfolgend beschrieben.

Die Brückengeländer und Leitplanken wurden als allgemeine adaptive Modelle erstellt und dem SOFiSTiK-Geländertool zugewiesen.

Erstellt wurde das Geländer aus zwei adaptiven Bauteiltypen (Hilfsmodelle):

- Adaptive Balken, gesteuert durch zwei adaptive Anfang-/Endpunkte, mit rechteckigem Querschnitt und den Abmessungen Höhe und Breite.
- Der Holm: Ein adaptiver Balken, gesteuert durch zwei adaptive Anfang-/Endpunkte. Der Querschnitt ist an die Richtzeichnungen der RASt angelehnt.

Aus mehreren Punkten wird ein Rahmen aus Referenzlinien erzeugt. Auf diesen werden abschnittsweise Referenzpunkte positioniert. Die adaptiven Bauteile werden mithilfe dieser Punkte platziert. Die Zuweisung der Abmessungen erfolgt über die Zuordnung entsprechender Familienparameter.

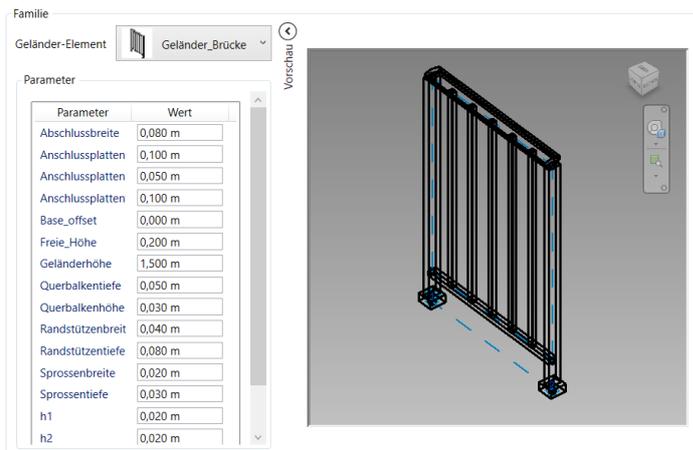


Abbildung 41: Geländermodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Für die Leitplanke wurde ein ähnliches Vorgehen gewählt. Es wurden allerdings keine separaten adaptiven Bauteile für Halterungen und das Blech erstellt. Stattdessen wurden die Querschnitte direkt im Leitplankenmodell platziert. Die Volumenkörper wurden aus den Querschnitten direkt im Modell extrudiert.

Dieses Vorgehen empfiehlt sich, da die Leitplanke deutlich weniger Komponenten enthält als das Brückengeländer. Hilfsinstanzen wie die adaptiven Balken oder das Holmmodell werden also nicht gebraucht, um die Übersicht zu behalten.

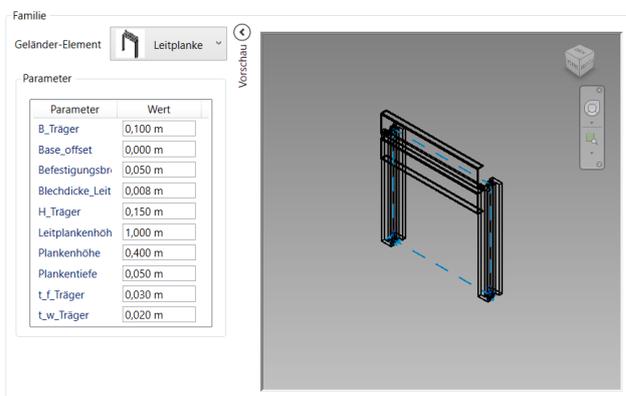


Abbildung 42: Leitplankenmodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Entsprechend des LOD-Konzeptes 2.5.2, wurde keine weitere Attribuierung der Geländer vorgenommen.

3.1.4.10 ist für die Geländer besonders wichtig.

In einer ursprünglichen Version des Modells war die Voreinstellung ‚geteiltes Bauteil‘ noch nicht ausgeschaltet. Daher wurde für jeden einzelnen der Balken zwei Instanzen der Querschnitte und je eine Instanz der Balken zusätzlich zur Instanz des Geländers erzeugt. Dies führte zu einer Vielzahl nicht benötigter Modellkomponenten, die das Modell erheblich verlangsamten.

Träger

Der signifikante Unterschied zwischen den beiden Vorentwurfsvarianten für die Brücke sind die Trägerkonzepte. Für den Stahlverbundentwurf wurden vier Stahlhohlträger modelliert.

Für diese wurde ein adaptives Modell erstellt, welches der SOFiSTiK-Trägerkategorie zugewiesen wurde. Die Modellierung erfolgte anhand der Regeln aus „**3.1.3.5 Träger und Trägerlayouts**“, d. h. ein Träger ist ein durch zwei adaptive Punkte gesteuerter, über einen/mehrere Querschnitte und eine Referenzachse erzeugter Volumenkörper.

Für den Träger wurden zwei Querschnittsprofile modelliert. Ein Profil wurde für die äußere Begrenzung des Trägerprofils erstellt und eines für den inneren Hohlkörper.

Um die beiden Profile aufeinander abzustimmen wurden sie ursprünglich in einem Gesamtquerschnitt modelliert. Dieses Modell wurde anschließend in zwei Teilmodell separiert.

Um eine Änderung der Querschnittsabmessungen zu ermöglichen wurde jedes Profil dreimal im Trägermodell platziert: jeweils einmal an den Rändern und einmal in der Mitte der Referenzachse.

Den Trägern können für jede dieser drei Positionen Querschnittsabmessungen und Neigungen zugewiesen werden. Die Form des Volumenkörpers wird zwischen diesen Positionen interpoliert. In Abbildung 43 ist zu sehen wie dadurch eine gebogene Unterseite des Profils entsteht.

Hierbei wird aus den äußeren Profilen ein Volumenkörper und aus den inneren Profilen ein Abzugskörper extrudiert.

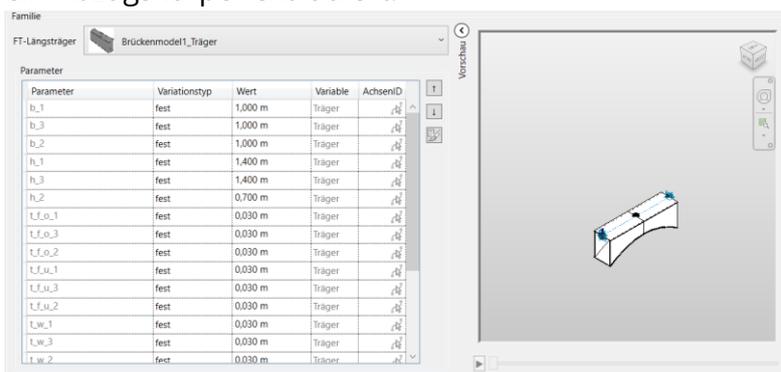


Abbildung 43: Trägermodell mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Zusätzlich zu den geometrischen Aspekten wurde die Attribuierung der Träger noch um die Angaben

- Material
- Expositionsklasse
- Objektbezeichnung

erweitert.

Trägerlayout

Für das Trägerlayout wurde der Querschnitt der Brückenplatte nachmodelliert und mit der Grider-Reference-Achse verknüpft. Diese wird über zwei zusätzliche Punkte zur Einrückung gesteuert.

Das Layout kann entsprechend über dieselben Parameter wie der Plattenquerschnitt und zusätzlich noch die Einrückungen gesteuert werden.

Für die Stahlverbundbauvariante wurden vier Trägerachsen modelliert, entlang denen die Träger platziert wurden.

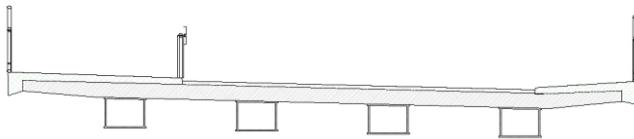


Abbildung 44: Stahlträger am Querschnitt (eigene Darstellung)

3.2.3. VARIANTE 2: SPANNBETONFERTIGTEIL

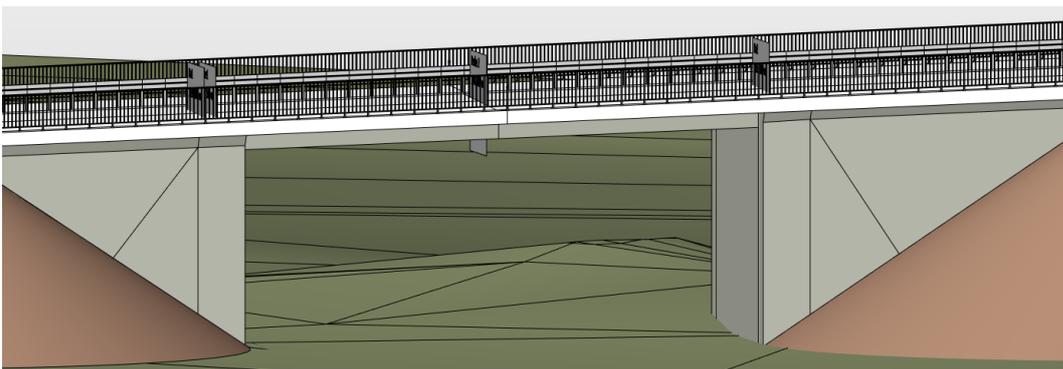


Abbildung 45: Ansicht Spannbetonfertigteilbrücke (eigene Darstellung)

Die Spannbetonfertigteilvariante verwendet für die nachfolgenden Modellkomponenten die gleichen Bauteilfamilien und Abmessungen wie die Stahlverbundbauvariante:

- Achse
- Gelände
- Böschung

- Widerlager
- Brückenplatte
- Straßenaufbau
- Kappen
- Brückengeländer und Leitplanken

Wie bereits erwähnt liegt der Unterschied im Trägerkonzept. In dieser Variante werden entlang der Unterseite durchgehend Spannbetonbetonfertigteilträger angebracht.

Träger

Für die Modellierung der Fertigteilträger wurden drei Trägermodelle erstellt. Eines für die innen liegenden Träger und jeweils eines für den linken und rechten Randträger. Letztere sind lediglich spiegelverkehrt zueinander.

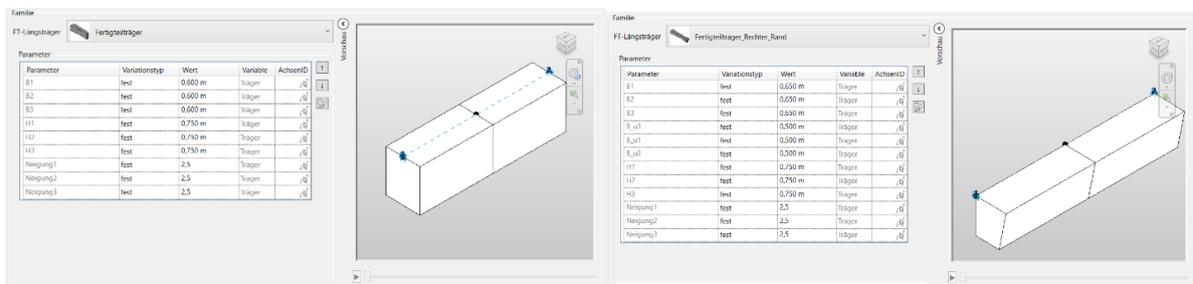


Abbildung 46: Innerer Träger und rechter Randträger mit Wertzuweisung (eigene Darstellung)

Für jedes Trägermodell wurde ein Querschnittsprofil erstellt. Auch wenn die Abmessungen der Träger für diesen Vorentwurf über den gesamten Brückenverlauf unverändert bleiben, sind dennoch wie im Stahlverbundentwurf darin Positionierungen der Querschnitte angesetzt worden. Diesen werden jeweils Abmessungen und Neigungen zugewiesen. Dadurch soll es ermöglicht werden, eventuelle in der LPH 3 erarbeitete Querschnittsoptimierungen, einzuarbeiten.

Zusätzlich zu den geometrischen Aspekten wurden die Attribuierung der Träger noch die Angaben

- Material
- Expositionsklasse
- Objektbezeichnung

erweitert.

Trägerlayout

Zur Erstellung des Trägerlayouts wurde dieselbe Trägerlayoutfamilie wie für den Stahlverbundbau genutzt. Jedoch wurde nicht eine Instanz des Layouts erstellt, sondern drei. Für die Randträger wurde jeweils eine eigene Trägerachse als Layout erzeugt und die entsprechenden Randträger zugewiesen. Für die dazwischen liegenden inneren Träger wurden 15 Trägerachsen modelliert und Träger zugewiesen.

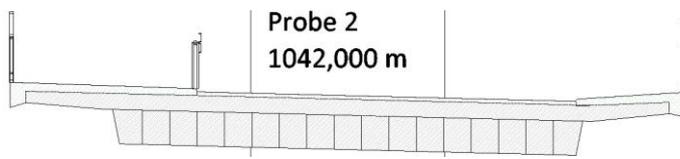


Abbildung 47: Fertigteilträger am Querschnitt (eigene Darstellung)

3.3. VERGLEICH ZUR KONVENTIONELLEN ARBEITSWEISE

Aufgrund von Verzögerungen bei der Auftragserteilung der Brückenplanung konnte von Seiten der IPROconsult im Zeitrahmen der Projektarbeit noch keine konventionelle Planung und entsprechend auch keine konventionelle Mengenermittlung und Planerstellung durchgeführt werden. Daher können diese hier nicht beschrieben und auch kein Vergleich der Ergebnisse der BIM-gestützten Mengenermittlung mit der konventionellen Mengenermittlung durchgeführt werden.

Um dennoch eine Art Vergleich zu führen, wird im Nachfolgenden das generelle Vorgehen bei einer konventionellen Mengenermittlung (3.3.1) und Planerstellung (3.3.2) beschrieben.

Anschließend werden jeweils die BIM-gestützten Vorgehensweisen mit den konventionellen verglichen.

3.3.1. MENGENERMITTLUNG UND KOSTENSCHÄTZUNG

3.3.1.1 Konventionelle Mengenermittlung und Kostenschätzung: Vorgehen

Das Vorgehen für die konventionelle Vorgehensweise wurde in Erläuterungen und Gesprächen mit den Konstrukteuren und Ingenieuren der IPROconsult aufgearbeitet.

Für die Mengenermittlung und anschließende Kostenschätzung werden die Volumina der Bauelemente benötigt. Grundlage für deren Bestimmung sind die 2D-Pläne und Schnitte der konventionellen Planung.

Anhand dieser Pläne werden die Volumina der Bauelemente berechnet/angenähert. Die benötigten Abmessungen müssen hierbei z.T. von Hand ermittelt werden. Längen und Flächen können teilweise aus dem CAD-Zeichnungen gemessen werden.

Unterstützt werden die Berechnungen oftmals durch Tabellenkalkulationssoftware wie Excel. In diese müssen die maßgebenden Abmessungen der einzelnen Bauelemente ebenfalls manuell eingegeben werden wie in Abbildung 48 zu sehen ist. Die weitere Berechnung erfolgt über (Näherungs-)Querschnitte und Höhen/Längen, die Prismenformel, etc.

GEWERK 13 - Asphaltbauweisen											
02.13	.0001	Rückschnitt vor Asphalteinbau							=	7,0 m	7.0
02.13	.0002	Asphalttragschicht herstellen, 14 cm außerhalb Bauwerksbereich	2,40 l/m ³ *	0,14 m *	150,00 m *	6,40 m			=	322,6 t	330.0
02.13	.0003	Erschwerisse durch Einbauten Borde, Pflasterstreifen West	150,00 m						=	150,0 m	150.0
02.13	.0004	Erschwerisse durch Einbauten Schachte/Schieber Bauwerksbereich	pauschal						=	10 St	10.0

Abbildung 48: Beispielauszug einer Mengenermittlung und Kostenschätzung der IPROconsult

Mit Einheitspreisen multipliziert ergeben sich aus den Volumina somit die Kosten. Die Einheitspreise basieren oft auf Erfahrungs- und/oder Schätzwerten, vor allem ihn frühen

LPHen, in denen die Hersteller/Anbieter von Materialien oder Leistungen noch nicht feststehen. Auch Baupreishandbücher (z.B. von Sirados) werden verwendet.

Naheliegenderweise liegt der Hauptaufwand im Falle der konventionellen Mengenermittlung auf der manuellen Auswertung der Abmessungen und den daraus resultierenden Berechnungen der Volumina. Durch Flüchtigkeitsfehler und die oftmals genutzten Näherungsformeln kann es dabei zu größeren Fehlern kommen.

Besonders die Ermittlung von Erdmassen (Aushub, Baugruben, Bauwerksanschüttungen) stellt aufgrund der komplexen Volumengeometrie eine Herausforderung dar.

3.3.1.2 Modellbasierte Mengenermittlung und Kostenschätzung

Im Nachfolgenden wird anhand der erstellten Modelle eine beispielhaft durchgeführte BIM-gestützte Mengenermittlung erläutert.

Die Mengenermittlung in Revit erfolgt anhand der Bauteil- und Materiallisten. Dazu wird zunächst festgelegt, welche Komponententypen und insbesondere welche Attribute in die Listen aufgenommen werden sollen. Es kann dabei sinnvoll sein, zusätzliche Attribute zu erstellen, um mittels dieser Attribute Filter einstellen zu können.

Je nach Projekt werden andere Listenarten benötigt. Bezogen auf die zuvor beschriebenen Modelle ergibt sich beispielsweise, dass die Materiallisten besser für die Mengenermittlungen geeignet sind als die Bauteillisten. Der Grund hierfür liegt in der Struktur der Überbauten. Die vorimplementierten Materialparameter sind nicht gleich den anderen Materialparametern im Modell, zumindest in der Tabellenstruktur. Daher sind die Bauteillisten teilweise unvollständig.

Zusätzlich bieten die Materiallisten automatisierte, materialbezogene Volumina. Veranschaulicht wird dies an den Widerlagern des Modells. Für die Materialien des Fundamentes und der Wände werden unterschiedliche Betongüten verwendet. Passend dazu werden die Volumina mit den entsprechenden Materialien in den Materiallisten getrennt aufgeführt.

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wurde das von Revit vorimplementierte Attribut „Kosten“ für die Einheitspreise genutzt.

Um die Mengenermittlung mit anschließender Kostenschätzung durchzuführen, werden die Volumina bzw. teilweise die Flächen der Modellkomponenten benötigt. Diese werden in Revit für jede Modellkomponente automatisch ermittelt und als Attribut zugewiesen. Die Flächen mussten, wie bereits beschrieben, den zugehörigen Modellkomponenten zugewiesen werden.

Für beide Vorentwurfsvarianten wurde eine Materialliste mit den nachfolgenden Spalten angelegt (Auszug: Abbildung 49):

- Typ und Familie
- Volumen
- Mengenermittlungsfläche
- Material
- Kosten

Anmerkung: Die Kosten sind hier jeweils als Einheitspreise zu sehen, also €/Mengeinheit, auch wenn als Einheit nur € angegeben sind.

Familie und Typ	Material: Volumen	Kosten	Material: Name	Mengenermittlung
Widerlager: Widerlager	175,01 m³	550,00€	Beton - C 25/30	
Widerlager: Widerlager	478,71 m³	550,00€	Beton - C 30/37	
Widerlager: Widerlager	174,98 m³	550,00€	Beton - C 25/30	
Widerlager: Widerlager	594,37 m³	550,00€	Beton, C30/37	
Kappe_West: Kappe_West	37,61 m³	850,00€	Ortbeton - bewehrt Verputzt	
Kappe_Ost: Kappe_Ost	23,18 m³	850,00€	Ortbeton - bewehrt Verputzt	

Abbildung 49: Ausschnitt der Materialliste des Stahlverbundbauentwurfs (eigene Darstellung)

Die vollständigen Materiallisten der beiden Varianten sind in Anhang 5 und 6 zu finden. Die erstellten Listen (eine pro Variante) können nun exportiert und zum Beispiel in Excel weiterverwendet werden. Es kann notwendig sein, die Tabelle um einige Kostenaspekte wie Traggerüste und Schutzeinrichtungen zu erweitern, wenn diese nicht im Modell eingearbeitet wurden. Diesen können Pauschalbetragspreise zugewiesen werden. Die absoluten Kosten können anschließend errechnet werden.

Selbstverständlich gibt es weitere Möglichkeiten, eine BIM-gestützte Mengenermittlung durchzuführen. In der Software Solibri ist eine Mengen- und Kostenermittlung vorimplementiert. Alternativ kann auf Softwarelösungen wie iTwo verwiesen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde sich jedoch auf die Lösung mittels Materiallisten und Excel zurückgegriffen, da diese der konventionellen Methode am ähnlichsten ist.

Modellkomponente	Mengeinheit	Einheitspreis[€/ME]	Material	Kosten[€]	Modellkomponente	Mengeinheit	Einheitspreis[€/ME]	Material	Kosten[€]
Volumen Böschung	227.446,46	15,00	Erde	3411696,9	Volumen Böschung	227.446,46	15	Erde	3411696,9
Volumen Widerlagererde	6.869,80	35,00	Erde	240443	Volumen Widerlagererde	6.869,80	35	Erde	240443
Volumen Fertigteilträger	182,85	1.000,00	C40/50	182850	Volumen Stahlträger	10,8	92500	C40/50	370000
Asphaltstraße	14778,27	75,00	Asphalt	1108370,25	Asphaltstraße	14778,27	75	Asphalt	1108370,25
Widerlagerwände	1.073,25	550,00	Beton - C30/37	590287,5	Widerlagerwände	1.073,08	550	Beton - C30/37	590194
Widerlagerfundamente	349,99	550,00	Beton - C25/30	192494,5	Widerlagerfundamente	349,99	550	Beton - C25/30	192494,5
Brückenplatte	114,32	350,00	Beton - 30/37	40012	Brückenplatte	114,32	350	Beton - 30/37	40012
Abdichtung Straße und Kappen	338,59	90,00	Abdichtung	30473,1	Abdichtung Straße und Kappen	338,59	90	Abdichtung	30473,1
Kappen	60,79	850,00	Ortbeton	51671,5	Kappen	60,79	850	Ortbeton	51671,5
Frostschuttschichten	7.520,89	25,00	Schüttung	188022,25	Frostschuttschichten	7.520,89	25	Schüttung	188022,25
Gesamt				6036321	Gesamt				5854376,5

Abbildung 50: Kostenschätzungen des Stahlverbundentwurfs (l.) und Spannbetonfertigteilentwurfs (r.) (eigene Darstellung)

Abbildung 50 stellt einen Vergleich der Kostenschätzungen für die beiden Varianten dar. Benutzt man ausschließlich die Kosten als Entscheidungskriterium erhält der Stahlverbundbau den Vorzug.

Anmerkung: Da die Frostschuttschicht wie in 3.2.2 beschrieben nicht von der Böschung abgezogen wurde, wurde das Frostschuttschichtvolumen hier in der Exceltabelle vom Böschungsvolumen abgezogen.

3.3.1.3 Vergleiche der Vorgehensweisen

Vergleicht man die Vorgehensweisen für die beiden Formen der Kostenschätzung, so zeigt sich, dass die durchzuführenden Schritte identisch sind:

1. Volumina und Flächen bestimmen
2. Mengen mit Einheitspreisen multiplizieren
3. Summe bilden

Der Unterschied besteht „lediglich“ in der Mengenermittlung. Für diese ergibt sich im Falle von Revit ein äußerst geringer Aufwand, da Berechnung der Volumina sowie die Zuweisung dieser als Attribut automatisch erfolgt. Im Falle der angewandten Software mussten zwar noch Flächenattribute erstellt und den entsprechenden Querschnitten zugewiesen werden, doch die Ermittlung der Attributwerte erfolgte wiederum automatisiert.

Beim konventionellen Vorgehen ist die Mengenermittlung ein aufwändiger Prozess, bei dem die benötigten Abmessungen ermittelt werden müssen. Teilweise ist das nur mit Hilfe von Interpolationen möglich. Anschließend sind die Volumina zu berechnen und auch hier kommen immer wieder Näherungsverfahren zum Einsatz. In Summe birgt die konventionelle Methode einige potenzielle Fehlerquellen und bedeutet einen hohen Zeitaufwand.

Dem gegenüber steht bei der BIM-Methodik der hohe Modellierungsaufwand, der im Zuge der Konstruktion und Familienkonzeptionierung zu leisten ist. Dieser lässt sich jedoch unter anderem durch einen hohen Standardisierungsgrad und Erfahrung reduzieren.

3.3.2. PLANERSTELLUNG

3.3.2.1 Konventionelle Planerstellung: Vorgehen

Das konventionelle Vorgehen wurde anhand von Erläuterungen und Gesprächen mit den Konstrukteuren und Ingenieuren der IPROconsult aufgearbeitet.

Grundlage der Planung und allgemeinen Konstruktion sind die Achsen der Ingenieurbauwerke sowie die Randbedingungen an maßgebenden Stellen (beispielsweise die Brückenden, vorgegebene Regelquerschnitte) und Zwangspunkte.

Anhand dieser Randbedingungen werden Ansichten und Schnitte für die maßgebenden Stellen ausgearbeitet.

Auf Basis dieser Stellen sowie der Achs- und Geländedaten werden weitere Ansichten und benötigte Schnitte abgeleitet. Die dazu benötigten Maße werden aus den maßgebenden Stellen interpoliert und/oder konstruiert. Vor allem bei Querschnittsveränderungen in mehrere Richtungen kann dies sehr aufwändig werden.

Eine Parametrisierung für alle Zeichnungen ist ebenfalls nicht möglich. Entsprechend müssen gegebenenfalls Änderungen, wie beispielsweise eine Querschnittsvergrößerung,

in allen Zeichnungen einzeln geändert werden. Gegebenenfalls müssen Bauteile erneut konstruiert werden.

Fehler in einer der Zeichnungen müssen sich nicht zwangsläufig auf alle Zeichnungen auswirken und können daher teilweise sehr schnell behoben werden.

3.3.2.2 Plan- und Schnittableitung aus dem Modell

Die Planerstellung anhand des 3D-Modells kann anhand der erstellten Modelle beschrieben werden.

Zu Beginn der Modellierung steht die Achse sowie Vermessungsdaten. Für die Komponenten des Modells werden geometrische und semantische Überlegungen durchgeführt und das Modell entsprechend konzipiert.

Schnitte und Ansichten können schon von Beginn an erstellt werden und passen sich an jedwede Änderungen des Modells an. Die Erzeugung dieser 2D-Unterlagen erfolgt über Tools der Modellierungssoftware.

Während der Modellierung dienen die Schnitte und Ansichten als Kontrollinstanzen. Für die Erstellung der Vorentwurfsvarianten wurden beispielsweise die Schnitte durch den Brückenquerschnitt (siehe Abbildung 44 und Abbildung 47) genutzt, um die Genauigkeit der Trägerkomponenten und eventuelle Überschneidungen zu überprüfen.

Die abgeleiteten Schnitte sind automatisch mit den zugehörigen Materialschraffuren versehen.

Die Schnitte und Ansichten müssen lediglich „aufgehübscht“ werden, d.h. sie müssen mit Maßketten und Beschriftungen versehen werden, sofern diese nicht automatisch zugewiesen werden. Änderungen im Modell müssen nicht von Hand in die Schnitte eingearbeitet werden. Nachteilig ist, dass sich Fehler im Modell auch auf alle Pläne und Schnitte auswirken.

Beispiele für Abgeleitete Schnitte und Ansichten sind in den Anhängen 7 und 8 zu finden.

3.3.2.3 Vergleich der Vorgehensweisen

Für den Vergleich der Vorgehensweisen wurden zusätzlich Erfahrungswerte der Konstrukteure und Ingenieure der IPROconsult aus Projekten einbezogen, welche mit 3D-Software bearbeitet wurden.

Ausgangspunkt des Vergleiches ist ein Zitat aus den Gesprächen:

„Wenn man 2D arbeitet, kann man schnell etwas präsentieren, verbringt dafür aber viel Zeit damit, Änderungen einzuarbeiten und zu interpolieren. Wenn man 3D arbeitet, braucht man länger, bis man etwas präsentieren kann, aber dafür muss man danach alles nur noch schön machen.“

Wie bereits beschrieben erfolgt die Erstellung der Pläne und Schnitte anhand ausgewählter Stellen mit Randbedingungen. Am Anfang der Planung kann man sich auf einige dieser Stellen konzentrieren und anhand der resultierenden Zeichnungen Konzepte präsentieren. So können beispielsweise Längsschnitte verschiedener Brückenvarianten frühzeitig zur Abstimmung mit dem Auftraggeber erzeugt werden.

Der Nachteil ist, dass man für jede weitere Position teils sehr aufwändig die Positionen der Plankomponenten bestimmen muss und Änderungen erheblichen Aufwand mit sich bringen, da sie in jedem Plan und jeder Zeichnung einzeln eingearbeitet werden müssen. Arbeitet man in 3D, muss man immer das gesamte Modell und die Einflüsse einzelner Komponenten aufs Ganze berücksichtigen. Auch müssen komplizierte geometrische Körper als Ganzes modelliert und damit geometrisch beschrieben werden.

Bis das Modell also einen präsentierbaren Stand erreicht hat, vergeht mehr Zeit. Dafür ist das Modell ab diesem Punkt funktionsfähig. Ansichten, Pläne und Schnitte können schnell und unkompliziert abgeleitet werden, ohne das hierfür „händische“ Interpolationen und Konstruktionen nötig wären. Das Modell muss lediglich um Details erweitert werden und eventuelle Änderungen lassen sich leicht einarbeiten.

Zusätzlich wurden von Seiten der Mitarbeiter die Potenziale der verbesserten Fehlererkennung und der räumlichen Darstellung betont. Die bereits erwähnte aufwändigere Modellierung komplexer Geometrien stellt hier gleichzeitig einen Vorteil dar. Anstatt sie sich anhand weniger 2D-Zeichnungen vorstellen zu müssen, kann sie durch die 3D-Visualisierung betrachtet werden. Diese kann die Entscheidungsfindung unterstützen.

Zusätzlich können anhand von 3D-Darstellungen schneller mögliche Kollisionen und fehlerhafte Platzierungen visuell erkannt werden.

In den Gesprächen ergab sich darüber hinaus, dass die Potenziale der 3D-Arbeitsweise überaus optimistisch betrachtet werden. Erfahrungen aus den früheren Projekten und aus der Modellierung im Rahmen der vorliegenden Arbeit zeigen, dass der Arbeitsaufwand für simple Geometrien nahezu gleich und bei komplexen Geometrien deutlich geringer ausfällt.

Wie im Fall der in ‚3.1.3.1 Achsenmodellierung‘ beschriebenen Rampe zu sehen war, konnte hier mit relativ geringem Aufwand ein schlichtes 3D-Modell erzeugt werden, welches die Konstruktion bei einer komplexen Geometrie veranschaulicht.

4 SCHLUSSWORT UND AUSBLICK

Im Rahmen dieser Projektarbeit konnte gezeigt werden, dass die BIM-Methodik für den Bereich der Infrastruktur bereits sehr weit fortgeschritten ist. In den ersten Pilotprojekten des Stufenplans digitales Planen und Bauen wurde deutlich, dass bereits entwickelte Technik und Software in der Lage sind hoch komplexe Probleme zu lösen. Hindernisse sowie Probleme werden angegangen.

So gibt es für Vertragsunterlagen bereits eine Vielzahl an Handreichungen und Richtlinien. Als gemeinsames Datenaustauschformat wird der IFC Standard in absehbarer Zeit an die Bedürfnisse der Infrastrukturplanung angepasst (Bsp.: IFC Bridge 2021).

Der praktische Teil dieser Arbeit zeigte anhand der Vorentwürfe auf, dass sich die BIM-Methodik sehr gut eignet, um einfachere Projekte zu bearbeiten. Ferner wurde in Gesprächen mit den Ingenieuren und Fachplanern der IPROconsult die Anwendung der BIM-Methodik auf komplexere Vorhaben diskutiert und die Potentiale der BIM-Methodik für diese erkannt. Anhand des Wiederlagermodells wird deutlich, dass auch komplexere Geometrien mit angemessenem Aufwand parametrisch modelliert werden können. Ferner zeigte das Rampenmodell, dass komplexe Ideen schnell veranschaulicht werden können.

Die weitere Nutzung des SOFiSTiK-Bridge Modelers durch die IPROconsult GmbH wird in den nächsten Monaten noch diskutiert. Eine finale Aussage kann zum Zeitpunkt der Abgabe noch nicht getroffen werden.

Die Parametrisierung zeigte große Vorteile auf, insbesondere bezüglich der flexiblen Anpassungsfähigkeit an diverse Änderungen. Gleichzeitig zeigte sich der vertretbare Aufwand, der für diese Form der flexiblen Modellierung aufgebracht werden muss.

Der Rahmen dieser Arbeit erlaubte nur ausgewählte der Handreichungen der BIM4INFRA2020 und Blätter der VDI 2552 zu analysieren. Wie jedoch in 2.1 zu sehen ist, gibt es eine Vielzahl an Normen und Handreichungen, die teilweise noch nicht einmal als Entwurf vorliegen. Jede von diesen bietet das Potenzial für weitere Forschung.

Die Gespräche mit den Mitarbeitern und die Ergebnisse des Stufenplans zeigen, dass die BIM-Methodik in der Baubranche zunehmend Einzug halten wird und Betriebe sowie Fachplaner bereits die Vorteile erkennen. In vielen der Gespräche wurde deutlich, dass das Vertrauen in die Ergebnisse der BIM-Methodik gestärkt und teils erworben werden muss. Methoden sowie Möglichkeiten zur Modellprüfung bieten hier einen möglichen Ansatz.

Geometrische Prüfungen sind mittlerweile in vielen BIM-orientierten Softwarelösungen implementiert, aber das Ergebnis semantischer Prüfungen in Form von stichprobenartigen, händischen Kontrollen einzelner Modellkomponenten ist jedoch ernüchternd. Demzufolge wären Lösungen für eine automatisierte semantische Prüfung der Modelle

erstrebenswert, um den Arbeitsaufwand für die Prüfung zu reduzieren und gleichzeitig die Qualität der Modelle und das Vertrauen in diese sicherzustellen.

Obwohl bereits viele Betriebe und Fachplaner die Vorteile der BIM-Methodik erkannt haben muss dennoch deutlich werden, dass BIM mehr ist als nur das Arbeiten mit 3D Geometrien. Vielmehr ist mit der BIM-Methodik eine neue Arbeitsweise im Bereich des Planens und Bauens verbunden. Der Wechsel hin zu einer aktiven Zusammenarbeit aller Beteiligten an *einem* Modell bedeutet auch, neue Rollen und Aufgaben. Damit einher geht eine Veränderung ganzer Berufsbilder sowie die teilweise Neustrukturierung von Unternehmen. Diese Umstellung wird zwar ein langwieriger Prozess sein, aber sicher auch Potenziale für zukünftige Projekt- und Diplomarbeiten beinhaltet.

5 LITERATURVERZEICHNIS

1. **BIM United** . <https://www.united-bim.com/leading-countries-with-bim-adoption/>. <https://www.united-bim.com/leading-countries-with-bim-adoption/>. [Online] BIM United, 2020. [Zitat vom: 15. Januar 2020.]
2. **BSI**. BSI-PAS 1192-2. *BSI-PAS 1192-2*. UK : BSI, 2013.
3. —. BSI-PAS 1192-3. *BSI-PAS 1192-3*. UK : BSI, 2013.
4. —. BSI-PAS 1192-4. *BSI-PAS 1192-4*. UK : BSI, 2014.
5. —. BSI-PAS 1192-5. *BSI-PAS 1192-5*. UK : BSI, 2015.
6. —. BSI-PAS 1192-6. *BSI-PAS 1192-6*. UK : BSI, 2018.
7. *Build-Ing. Die BIM-Zeitschrift*. **Build-Ing.** 04/19, s.l. : Build-Ing.-Die BIM-Zeitschrift, 2019.
8. **BMVI**. *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*. Berlin : BMVI, 2015.
9. **NBS**. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-pas-1192-framework>. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-pas-1192-framework>. [Online] NBS, 11. September 2017. [Zitat vom: 26. Januar 2021.]
10. **building smart ev.** <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/standards-library/>. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/standards-library/>. [Online] building smart ev., Mai 2020. [Zitat vom: 26. Januar 2021.]
11. **Lenhart, Dipl.-Ing. Bernd.** https://www.vdi.de/richtlinien/seite/2?tx_vdiguidelines_guidelinelist%5Bfilter%5D%5BsearchTerm%5D=2552&cHash=f4723696fdc8149df978e1c99bb434f0#richtlinien. https://www.vdi.de/richtlinien/seite/2?tx_vdiguidelines_guidelinelist%5Bfilter%5D%5BsearchTerm%5D=2552&cHash=f4723696fdc8149df978e1c99bb434f0#richtlinien. [Online] VDI. [Zitat vom: 25. Januar 2021.]
12. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** Handreichungen und Leitfäden - Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozesse. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. 10 2020.]

13. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 2: Leitfaden und Muster für Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA). <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
14. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 3: Leitfaden und Muster für der BIM-Abwicklungsplan (BAP). <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
15. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 4: Leitfaden zur Leistungsbeschreibung. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
16. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 5: Muster Besondere Vertragsbedingungen BIM. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
17. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 6: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
18. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 7: Handreichungen BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
19. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 8: Neutraler Datenaustausch im Überblick. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
20. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 9: Datenaustausch mit INDUSTRY Foundation Classes. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
21. —. Handreichungen und Leitfäden - Teil 10: Technologien im BIM-Umfeld. <https://bim4infra.de/handreichungen/>. [Online] April 2019. [Zitat vom: 6. Oktober 2020.]
22. **4.0, Bauen.** *Konzept zur schrittweisen Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken – Stufenplan zur Einführung von BIM.* Berlin : BMVI, 2015.
23. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau.* s.l. : BMVI, 2018.

24. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Endbericht wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekte "Brücke über den Petersdorfer See"*. s.l. : BMVI, 2017.
25. **NDR.** <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Petersdorfer-Bruecke-wird-nach-und-nach-freigegeben,bruecke1460.html>.
<https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Petersdorfer-Bruecke-wird-nach-und-nach-freigegeben,bruecke1460.html>. [Online] NDR, 19. November 2020. [Zitat vom: 10. Dezember 2020.]
26. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Endbericht wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekte "EÜ Filstal"*. s.l. : BMVI, 2017.
27. **Company, Nemetschek.** <https://blog.allplan.com/de/10-innovative-bim-projekte-die-sie-kennen-sollten>. <https://blog.allplan.com/de/10-innovative-bim-projekte-die-sie-kennen-sollten>. [Online] Nemetschek Company, 6. Februar 2019. [Zitat vom: 27. Dezember 2020.]
28. **Deutsche Bahn AG.** <https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/de/mediathek/detail/media/filstalbruecke/mediaParameter/show/Medium/>.
<https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/de/mediathek/detail/media/filstalbruecke/mediaParameter/show/Medium/>. [Online] Deutsche Bahn. [Zitat vom: 27. Dezember 2020.]
29. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Endbericht wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt "Talbrücke Auenbach"*. s.l. : BMVI, 2017.
30. —. *Endbericht wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt "Tunnel Rastatt"*. s.l. : BMVI, 2017.
31. **Deutsche Bahn AG.** <https://www.karlsruhe-basel.de/kurzbeschreibung-tunnel-rastatt.html>. <https://www.karlsruhe-basel.de/kurzbeschreibung-tunnel-rastatt.html>. [Online] Deutsche Bahn. [Zitat vom: 27. Dezember 2020.]
32. **Kaute, Florian.** <https://meinka.de/rheintalbahnhof-tunnel-rastatt/>.
<https://meinka.de/rheintalbahnhof-tunnel-rastatt/>. [Online] meinKA, 12. Februar 2020. [Zitat vom: 27. Dezember 2020.]
33. **Deutsche Bahn AG.** <https://www.karlsruhe-basel.de/meldungen/tunnel-rastatt-vorbereitungen-fuer-vortrieb-in-der-westroehre-gehen-weiter.html>.
<https://www.karlsruhe-basel.de/meldungen/tunnel-rastatt-vorbereitungen-fuer-vortrieb-in-der-westroehre-gehen-weiter.html>. [Online] Deutsche Bahn, 26. November 2020. [Zitat vom: 3. Januar 2021.]

34. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau Endbericht und Handlungsempfehlungen.* s.l. : BMVI, 2018.
35. **BMVI.** *Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ erster Zwischenbericht, Stand 2017.* s.l. : BMVI, 2017.
36. **Verein Deutscher Ingenieure.** *VDI Richtlinien VDI 2552 Blatt 10.* s.l. : VDI, 2020.
37. **André Borrmann, Technische Universität München, et al.** *Umsetzung des Stufenplans "Digitales Planen und Bauen" Stand 2018.* s.l. : BMVI, 2018.
38. **DIN.** *DIN EN 16739-1.* s.l. : DIN, 019.
39. **buildingSmart** **ev.**
<https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/ifc-bridge/>.
<https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/ifc-bridge/>. [Online]
 buildingSmart. [Zitat vom: 12. Oktober 2020.]
40. **IFC Bridge Team.** <https://ifcinfra.de/ifc-bridge/bridge-abschluss/>. <https://ifcinfra.de/ifc-bridge/bridge-abschluss/>. [Online] IFC Bridge Team/ building smart ev., Juni 2019. [Zitat vom: 25.10-13.11. Oktober, November 2020.]
41. **IFC INFRA Team.** http://ifcinfra.de/wp-content/uploads/2019/05/2019-03-26_IFC-Bridge_Overview_.pdf. http://ifcinfra.de/wp-content/uploads/2019/05/2019-03-26_IFC-Bridge_Overview_.pdf. [Online] 26. März 2019. [Zitat vom: 8. Oktober 2020.]
42. **Karsten Menzel, Dr. Weise.** BIW4-70 Vorlesungsunterlagen. *BIW4-70 Vorlesungsunterlagen.* Dresden : s.n., 2019.
43. **Grossmann, Christoph.** <https://ipronet.iproconsult.com/display/BIM/Fachlexikon.ipronet.iproconsult.de>. [Online] IPROconsult. [Zitat vom: 8. Oktober 2020.]
44. **BauNetz.** <https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890>. www.baunetzwissen.de. [Online] BauNetz. [Zitat vom: 8. Oktober 2020.]
45. **Klaus Heinlein, Matthias Hilka, Marcus Hilka.** <https://www.hoi.de/hoai/volltext/hoai-2013/>. *hoai.de*. [Online] hoai.de, Juli 2013. [Zitat vom: 5. Oktober 2020.]
46. **Klaus Heinlein, Matthias Hilka, Marcus Hilka.** <https://www.hoi.de/hoai/volltext/hoai-2021/>. *hoai.de*. [Online] hoai.de, November 2020. [Zitat vom: 5. Dezember 2020.]

47. **G, Nico.** https://www.youtube.com/watch?v=9Phud_IR1bw.
https://www.youtube.com/watch?v=9Phud_IR1bw. [Online] Nico G, 15. Juni 2019. [Zitat vom: 16. Oktober 2020.]
48. —. <https://www.youtube.com/watch?v=PvfL016fFbU>.
<https://www.youtube.com/watch?v=PvfL016fFbU>. [Online] Nico G, 20. Mai 2019. [Zitat vom: 16. Oktober 2020.]
49. —. <https://www.youtube.com/watch?v=ZNBAeeN1bF8>.
<https://www.youtube.com/watch?v=ZNBAeeN1bF8>. [Online] Nico G, 5. Juni 2019. [Zitat vom: 16. Oktober 2020.]
50. —. <https://www.youtube.com/watch?v=kp9cX3IVRWM>.
<https://www.youtube.com/watch?v=kp9cX3IVRWM>. [Online] Nico G, 3. Juni 2019. [Zitat vom: 16. Oktober 2020.]
51. —. https://www.youtube.com/watch?v=kxtoE_ML2t0.
https://www.youtube.com/watch?v=kxtoE_ML2t0. [Online] Nico G, 25. Mai 2019. [Zitat vom: 16. Oktober 2020.]
52. **SOFISTIK AG.** <https://www.sofistik.de/infocenter/webinare>. *www.sofistik.de*. [Online] SOFiSTiK AG, 2018-2020. [Zitat vom: 9-15. Oktober 2020.]
53. —. https://www.sofistik.de/documentation/2020/de/bridge_modeler/index.html.
https://www.sofistik.de/documentation/2020/de/bridge_modeler/index.html. [Online] SOFiSTiK AG. [Zitat vom: 10.10-21.12. Oktober, November, Dezember 2020.]
54. **SEHLHOFF GMBH.** *B88 Jena Nord*. Jena : Verleger, Jahr.

V ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Digitales Anlagenverzeichnis	i
Anlage 2	LOD des Brückenmodells der LPH 2	ii
Anlage 3	LOD des Brückenmodells der LPH 3	iii
Anlage 4	LOD des Brückenmodells der LPH 5	iv
Anlage 5	Materialliste Stahlverbundentwurf	v
Anlage 6	Materialliste Spannbetonfertigteilentwurf.....	vi
Anlage 7	Variante 1: Stahlverbundbau	vii
Anlage 8	Variante 2: Spannbetonfertigteilbau	viii

ANLAGE 1 DIGITALES ANLAGENVERZEICHNIS

Revitmodell der Vorentwurfsvariante

ANLAGE 2 LOD DES BRÜCKENMODELLS DER LPH 2

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Brückenplatte	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis
Träger	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Beton-/Stahlgüte, Einheitspreis
Widerlager	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis
Straßenaufbau	150	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Einheitspreis
Kappen	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis
Böschungselemente	200	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Einheitspreis
Passive Schutz-einrichtung	100	Vereinfachte Darstellung als Volumenkörper/Bounding Box	Bauart

ANLAGE 3 LOD DES BRÜCKENMODELLS DER LPH 3

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Brückenplatte	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Träger	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Beton-/Stahlgüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Widerlager	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Straßenaufbau	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt, inklusive einzelner Schichten	Volumen, Material, Typ, Korngrößen, Bitumenart, Einheitspreis, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Kappen	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Böschungselemente	300	Ungefähre Position, Abmessungen/Querschnitt	Volumen, Material, Typ, Korngrößen, Einheitspreis, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Passive Schutz-einrichtung	200	Ungefähre Position, Abmessungen	Material, Typ, Einheitspreis, zeitlicher Bauabschnitt
Ausbauten und Details (z.B.: Entwässerung, Leitungen, Übergangskonstruktionen)	200	Ungefähre Position, Abmessungen	Material, Typ, Einheitspreis, zeitlicher Bauabschnitt

ANLAGE 4 LOD DES BRÜCKENMODELLS DER LPH 5

Modellelement	LOD	LOG	LOI
Brückenplatte	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Bewehrungsplan	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Betongüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Träger	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, ggf. Erweiterung um Bewehrungsplan oder Einbaudetails	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Beton-/Stahlgüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Widerlager	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Bewehrungsplan	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Beton-/Stahlgüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Straßenaufbau	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, inklusive einzelner Schichten	Volumen, Material, Typ, Korngrößen, Bitumenart, Einheitspreis, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Kappen	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Bewehrungsplan	Volumen, Material, Typ, Expositions-klasse, Beton-/Stahlgüte, Einheitspreis, Bewehrungsgehalt, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Böschungselemente	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Bewehrungsplan oder Stützeinrichtungen	Volumen, Material, Typ, Korngrößen, Einheitspreis, Positionsnummer, zeitlicher Bauabschnitt
Passive Schutz-einrichtung	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitte, Erweiterung um Details der Befestigung	Material, Typ, Einheitspreis, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt
Ausbauten und Details (z.B.: Entwässerung, Leitungen, Übergangskonstruktionen)	400	Genaue Position, exakte Abmessungen/Querschnitt, Erweiterung um Detailzeichnungen	Material, Typ, Einheitspreis, Materialkennwerte, zeitlicher Bauabschnitt, Einbauzeitpunkt

ANLAGE 5 MATERIALLISTE STAHLVERBUNDENTWURF

Familie und Typ	Material: Volumen	Kosten	Material: Name	Mengenermittlung
Widerlager: Widerlager	175,01 m³	550,00€	Beton - C 25/30	
Widerlager: Widerlager	478,71 m³	550,00€	Beton - C 30/37	
Widerlager: Widerlager	174,98 m³	550,00€	Beton - C 25/30	
Widerlager: Widerlager	594,37 m³	550,00€	Beton, C30/37	
Kappe_rechts (0): Kappe_rechts (0)	23,18 m³	850,00€	Ortbeton - bewehrt Verputzt	
Kappe_links (0): Kappe_links (0)	37,61 m³	850,00€	Ortbeton - bewehrt Verputzt	
Frostschuttschicht Süd: Frostschuttschicht Süd	4791,84 m³	25,00€	Fußboden - Schüttung	
Frostschuttschicht Nord: Frostschuttschicht Nord	2729,05 m³	25,00€	Fußboden - Schüttung	
Erdvolumen_Widerlager: Erdvolumen_Widerlager	1524,08 m³	35,00€	Erde	
Erdvolumen_Widerlager: Erdvolumen_Widerlager	2285,41 m³	35,00€	Erde	
Böschungsrundung_rechts: Böschungsrundung_rechts	538,26 m³	35,00€	Erde	
Böschungsrundung_rechts: Böschungsrundung_rechts	1006,42 m³	35,00€	Erde	
Böschungsrundung_links: Böschungsrundung_links	555,06 m³	35,00€	Erde	
Böschungsrundung_links: Böschungsrundung_links	971,49 m³	35,00€	Erde	
Böschung_Anpassung2-Str11: Böschung_Anpassung2-Str11	178964,90 m³	15,00€	Erde	
Böschung Str4-Ba1 (0): Böschung Str4-Ba1 (0)	12060,72 m³	15,00€	Erde	
Böschung Str3-Str4 (0): Böschung Str3-Str4 (0)	23214,94 m³	15,00€	Erde	
Böschung Str2-Str3 (0): Böschung Str2-Str3 (0)	1715,81 m³	15,00€	Erde	
Böschung Str1-Str2: Böschung Str1-Str2	19010,98 m³	15,00€	Erde	
Brückenplatte: Brückenplatte	114,32 m³	350,00€	Beton - C 30/37	338,59 m²
Brückenmodell1_Träger: Brückenmodell1_Träger	2,70 m³	92.500,00€	Metall - Baustahl S355	
Brückenmodell1_Träger: Brückenmodell1_Träger	2,70 m³	92.500,00€	Metall - Baustahl S355	
Brückenmodell1_Träger: Brückenmodell1_Träger	2,70 m³	92.500,00€	Metall - Baustahl S355	
Brückenmodell1_Träger: Brückenmodell1_Träger	2,70 m³	92.500,00€	Metall - Baustahl S355	
Asphaltstraße Süd: Asphaltstraße Süd	741,95 m³	75,00€	Asphalt	9277,81 m²
Asphalt und Frostschuttschicht Nord: Asphalt und Frostschuttschicht Nord	422,56 m³	60,00€	Asphalt	5284,35 m²
Asphalt und Abdichtung Brücke: Asphalt und Abdichtung Brücke	17,27 m³	75,00€	Asphalt	216,11 m²

