

**Wissenschaftliche Begleitung der BMVI-Pilotprojekte  
zur Anwendung von Building Information Modeling (BIM) im  
Infrastrukturbau**

**Endbericht**

**Wissenschaftliche Begleitung  
Brücke über den Petersdorfer See**

01.08.2017

**bearbeitet von**

André Borrmann, Technische Universität München  
Markus König, Ruhr-Universität Bochum  
Julian Amann, Technische Universität München  
Matthias Braun, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH  
Robert Elixmann, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB  
Klaus Eschenbruch, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB  
Kerstin Hausknecht, AEC3 Deutschland GmbH  
Markus Hochmuth, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH  
Thomas Liebich, AEC3 Deutschland GmbH  
Markus Scheffer, Ruhr-Universität Bochum  
Simon Vilgertshofer, Technische Universität München

**im Auftrag**

des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Bei den dargestellten Abbildungen Dritter handelt es sich um Großzitate nach §51  
UrhG. Auf die Urheber wird in der Quellenangabe verwiesen.

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM



Computing  
in Engineering



AEC3



OBERMEYER  
PLANEN + BERATEN GmbH



Kapellmann  
Rechtsanwälte



TUM  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

## Inhaltsverzeichnis

<b>Ansprechpartner</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Projektübersicht</b> .....	<b>4</b>
<b>2 BIM-Ziele</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Auswertung des BIM-Reifegrads</b> .....	<b>5</b>
3.1 Auftraggeber-Information-Anforderungen.....	5
3.2 BIM-Abwicklungsplan .....	6
3.3 Verträge .....	7
3.4 Technologie.....	8
3.5 BIM-Team .....	11
3.6 Leistungsphase 2 und 3.....	12
3.7 Leistungsphase 4 und 5.....	12
3.8 Leistungsphase 6 und 7.....	12
3.9 Ausführung.....	12
3.10 Überführung in den Betrieb.....	18
<b>4 Zusammenfassende Bewertung</b> .....	<b>18</b>

---

## **Ansprechpartner**

Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen  
Prof. Dr.-Ing. Markus König  
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum  
E-Mail: koenig@inf.bi.rub.de

AEC3 Deutschland GmbH  
Dr.-Ing. Thomas Liebich  
Joseph-Wild-Str. 13, 81829 München  
E-Mail: tl@aec3.de

OBERMEYER Planen + Beraten GmbH  
Dipl.-Ing. Markus Hochmuth  
Hansastr. 40, 80686 München  
E-Mail: markus.hochmuth@opb.de

Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB  
Dr. Robert Elixmann  
Stadttor 1, 40219 Düsseldorf  
E-Mail: robert.elixmann@kapellmann.de

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann  
Arcisstraße 21, 80290 München  
E-Mail: andre.borrmann@tum.de

# 1 Projektübersicht

Die Brücke über den Petersdorfer See ist Teil der A 19 zwischen Berlin und Rostock und befindet sich auf Höhe der Anschlussstelle Waren. Aufgrund des schlechten Zustands der zuvor bestehenden Brücke musste ein Neubau realisiert werden. Die Brücke besteht aus zwei getrennten Überbauten für die jeweiligen Fahrtrichtungen und hat eine Gesamtlänge von 264 m. Zum Projektumfang gehört zudem der Umbau der Anschlussstelle Waren mit umfangreichen Erdarbeiten und einer die Autobahn querenden Brücke. Die ersten Ausführungsarbeiten haben bereits im Juni 2015 begonnen, ihr Abschluss war für April 2017 vorgesehen. Durch erhebliche Schwierigkeiten mit den Baugrundverhältnissen wird sich der Abschluss der Baumaßnahme jedoch bis voraussichtlich 2018 verzögern. Die beiden Brückenhälften werden nacheinander abgerissen und erneuert. Aufgrund der zentralen Bedeutung der A 19 für die Verbindung zwischen Berlin und Rostock galt es, die Verkehrsbeeinträchtigungen so gering wie möglich zu halten. Dennoch konnte nicht verhindert werden, dass im Laufe der Bauarbeiten die Autobahn temporär auf nur zwei Fahrstreifen verengt wird.

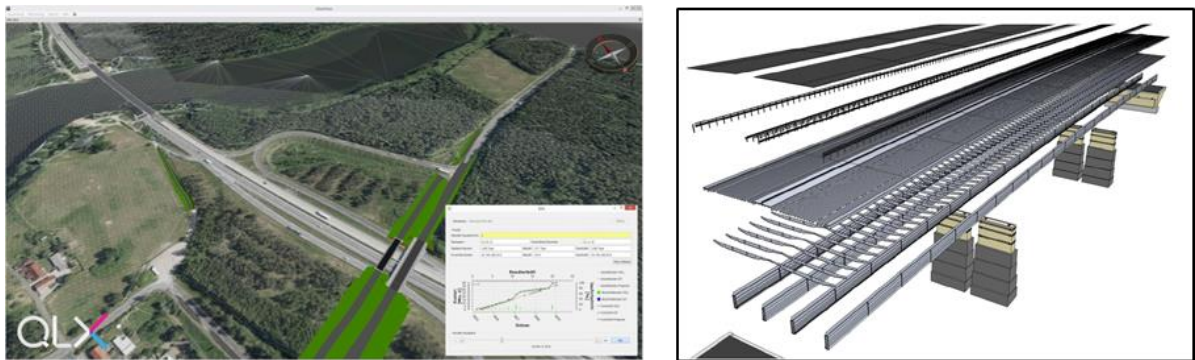


Abbildung 1: BIM-Pilotvorhaben Petersdorfer Brücke (Quelle: QLX GmbH)

## 2 BIM-Ziele

Als übergeordnetes BIM-Ziel wurde mit dem Projekt das Sammeln von ersten Erfahrungen beim Einsatz der BIM-Methodik verfolgt. Der Einsatz der BIM-Methodik wurde erst nach erfolgter Vergabe der Bauleistungen beschlossen. Dies gilt auch für die Entwurfs- und Ausführungsplanung, die vollständig konventionell auf der Basis von 2D-Zeichnungen durchgeführt worden ist. Auch die Ausschreibung und Vergabe ist konventionell abgewickelt worden. Das 3D-Modell sowohl des Bestandes als auch des Neubaus wurde anhand der 2D-Ausführungsplanung erstellt. Im Rahmen des BIM-Pilotprojekts sollten folgende Modelle erstellt werden:

- Bestandsmodelle
  - Brücke Petersdorfer See (BW 15)

- Brücke AS Waren (BW 14-Ü2)
- Verkehrsanlage inkl. Erdbauten (Freie Strecke)
- Verkehrsanlage inkl. Erdbauten (Anschlussstelle)
- Neubaumodelle
  - Brücke Petersdorfer See (BW 15)
  - Temporäre Behelfsbrücke AS Waren
  - Brücke AS Waren (Müritz) (BW 14-Ü2)
  - Verkehrsanlage inkl. Erdbauten Neubau (Freie Strecke)
  - Verkehrsanlage inkl. Erdbauten Neubau (Anschlussstelle)

Ziele des BIM-Einsatzes waren die Visualisierung des Ist- und Soll-Zustands der Bauwerke, der Verkehrsanlagen und des Umfelds, die bauzeitliche Visualisierung der Bauzustände mit Darstellung der Terminabhängigkeiten und der Simulation der Verkehrsführung sowie die modellgestützte Mengen- und Kostenermittlung als Mittel der Validierung der konventionellen Ermittlung.

Die Nutzung der BIM-Methodik im Projekt fokussierte auf die Ausführungsphase. Im Vordergrund stand die 3D- und 4D-Modellierung des Vorhabens einschließlich der Abbildung der verschiedenen Bauphasen und der temporären Verkehrsleitung.

Da die Vergabe der Bauleistungen bereits erfolgt war, wurde BIM ausschließlich zur nachträglichen Plausibilisierung eingesetzt. BIM hatte weder Planungsrelevanz noch wurde es zur Begleitung der Bauausführung (Baufortschrittskontrolle, Abrechnung, Mängelmanagement) eingesetzt.

### **3 Auswertung des BIM-Reifegrads**

Die Bewertung der BIM-Methodik auf Grundlage der entwickelten BIM-Reifegradmetrik erfolgte fortlaufend während der Begleitung des BIM-Pilotvorhabens. Die BIM-Reifegradmetrik vergleicht ein BIM-Projekt mit einem bis 2020 zu erreichenden BIM-Niveau I. Die maximale Punktzahl zu einem Bewertungskriterium wird vergeben, wenn der Reifegrad des Projektes mit dem erwarteten Reifegrad des BIM-Niveaus I übereinstimmt. Im Zuge der Begleitung wurden mehrere Projekttreffen organisiert, in denen die BIM-Ziele kontinuierlich diskutiert wurden. Der Projektverlauf fließt somit in die Bewertung mit ein. Im Folgenden werden die nach Themenkomplexen und Leistungsphasen gruppierten Bewertungskategorien erläutert.

#### **3.1 Auftraggeber-Informationen-Anforderungen**

Für die BIM-Abwicklung wurden keine Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) ausgearbeitet. Die BIM-Prozesse wurden nicht formal spezifiziert. Die

beabsichtigten BIM-Anwendungen und die daraus abgeleiteten Anforderungen an die Modelle wurden jedoch informell im Vertrag mit dem beauftragten Softwareunternehmen festgelegt. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads der AIA:

Welche Anforderungen bzgl. BIM wurden durch den Auftraggeber zur Ausschreibung definiert?	unbekannt	informell festgehalten			initial abgestimmt zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer	wird kontinuierlich fortgeschrieben	Punkte
	x						1
	0	1	0	0	0	0	
<b>Gesamt</b>							<b>1</b>

Abbildung 2: Reifegrad der AIA

### 3.2 BIM-Abwicklungsplan

Es wurde durch den Auftragnehmer kein formaler BIM-Abwicklungsplan (BAP) ausgearbeitet. Die gewählte Vorgehensweise wurde zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer informell abgestimmt und Zwischenstände der Modellentwicklung in regelmäßigen Treffen präsentiert. Im Nachgang entstand eine ausführliche Projektdokumentation. Die BIM-Anwendungsfälle „Visualisierung“, „4D-Animation“ und „Mengenermittlung“ werden im Vertrag zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer benannt. Es wurden seitens des Auftragnehmers technische Festlegungen zur eingesetzten Software, zu den verwendeten Datenaustauschformaten und der Attribuierung getroffen und dokumentiert. Es wurden organisatorische Festlegungen vorgenommen, u.a. wurde ein Zeitplan zur Erstellung des BIM-Modells festgeschrieben. Datenaustauschpunkte und Koordinationsprozesse wurden nicht beschrieben. Dies war auch nicht notwendig, da nur ein Partner an der Erstellung und Nutzung des Modells beteiligt war. Die erstellte 3D-Geometrie weist einen sehr hohen, mitunter für die gewählten Anwendungsfälle zu hohen, Detaillierungsgrad (LOD)<sup>1</sup> auf. Gleichzeitig weisen die Modelle nur in eingeschränktem Maße eine Attribuierung auf. Formale Klassifikationssysteme wurden nicht eingesetzt. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads des BAP:

Wurde ein BIM-Abwicklungsplan aufgestellt und wie verbindlich ist er?	keiner vorhanden		interner BAP genutzt	BAP für gesamtes Planungsteam	projektweiter BAP	BAP als Vertragsdokument	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	

Wurden BIM-Ziele vom Auftraggeber definiert?	keine Ziele definiert	informell und unpräzise Ziele formuliert		qualitative Ziele		es wurden quantitative Ziele festgelegt	Punkte
	x						2
	0	0	2	0	0	0	

<sup>1</sup> Die Level of Development (LOD) beschreiben den Detaillierungsgrad der Modellelemente. Ein LOD setzt sich aus dem geometrischen Detaillierungsgrad (LOG) und alphanumerischen Detaillierungsgrad (LOI) zusammen. Modellelemente werden in frühen Projektphasen nicht so detailreich wie in späteren Phasen dargestellt. Der LOD kann also je nach Projektphase bzw. Vereinbarung höher oder niedriger sein.

Wurden BIM-Anwendungsfälle definiert, um die o.g. Ziele zu erreichen?	keine Anwendungsfälle definiert	nur triviale Anwendungsfälle definiert ("3D-Modell")		Anwendungsfälle aufgelistet		Anwendungsfälle im Detail beschrieben	Punkte
	x			x			
	0	0	0	3	0	0	3
Technische Festlegungen	keine Festlegungen	wenige, grobe technische Festlegungen		einige technische Festlegungen (z.B. zu Datenaustauschformaten)		detaillierte Festlegungen zu allen technischen Fragen	Punkte
	x			x			
	0	0	0	3	0	0	3
Organisatorische Festlegungen	keine Festlegungen	wenige, oberflächliche Festlegungen		einige Festlegungen zu Verantwortlichkeiten, etc.		detaillierte Festlegungen	Punkte
	x			x			
	0	0	0	3	0	0	3
BIM-Workflow	keine Definitionen zum BIM-Workflow	informell, sehr grob beschriebener Workflow		textuell beschriebener, detaillierter Workflow	eigene grafische Darstellung und Beschreibung	Modellierung des Workflows nach BPMN, genaue Festlegungen zu Übergabeformaten und -zeitpunkten	Punkte
	x						
	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>							<b>1.83</b>

Abbildung 3: Reifegrad des BAP

### 3.3 Verträge

Da in diesem Projekt von den Planern keine BIM-Methodik eingefordert und umgesetzt wurde, existieren auch keine BIM-spezifischen Regelungen in Verträgen. Ebenso wenig wurden BIM-Leistungen von der bauausführenden Firma vertraglich eingefordert. Stattdessen wurden parallel zur konventionellen Planung und Bauausführung gesondert BIM-Modellierungsdienstleistungen an einen IT-Spezialanbieter vergeben.

Grundlage der Beauftragung war ein Angebots-Leistungsverzeichnis des Auftragnehmers, in welchem vereinbart wurde, dass bestimmte Teilmodelle (Bestand, Planung) erstellt und zur Visualisierung von Bauzuständen mit Terminen verknüpft werden sollten. Das Angebots-Leistungsverzeichnis enthält keine Spezifizierungen in Bezug auf die eingesetzte Software und Datenformate. Aus rechtlicher Sicht ist es hinnehmbar, von der Vereinbarung konkreter Datenformate zur Modellierung abzusehen, wenn der Auftraggeber kein Interesse an einer eigenen Bearbeitbarkeit der Daten hat. Dann kann eine Dokumentation der Leistungserbringung in Berichtsform mit Screenshots, ggf. zzgl. Live-Präsentationen an einem Rechner des Auftragnehmers, erfolgen. Der Auftraggeber hatte in dem konkreten Projekt die Möglichkeit, auf einem speziell konfigurierten, eigenen Rechner mit dem Modell zu arbeiten (Einzelplatzinstallation auf Rechner des Auftraggebers). In der Regel wird allerdings der Auftraggeber BIM-Modelle selber öffnen und unmittelbar nutzen wollen. Dann ist es

zwingend notwendig, die Datenstrukturierung und Dateiformate vertraglich zu regeln. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads der Verträge:

Mit welchen Projektbeteiligten wurden Vereinbarungen betreffend der Erbringung von BIM-spezifischen Leistungen getroffen und in welchem Umfang?	Zu BIM wurden keine Vereinbarungen getroffen.	BIM-Leistungen wurden mit einem externen Dienstleister vereinbart, dessen Leistungen alleine einer nachträglichen Plausibilisierung/ Visualisierung dienen.	BIM-Leistungen wurden mit einem externen Dienstleister vereinbart, dessen Leistungen in dem Planungs- und/oder Ausführungsprozess berücksichtigt werden.	BIM-Leistungen wurden mit dem Objektplaner <u>oder</u> Generalunternehmer vereinbart.	BIM-Leistungen wurden entweder (1) mit dem Objektplaner und Generalunternehmer <u>oder</u> (2) mit dem Objektplaner und der Mehrheit der Fachplaner vereinbart.	Mit allen Planungs- und Ausführungs-beteiligten inkl. Fachplaner u. Nachunternehmer wurden BIM-Leistungen vereinbart.	Punkte
	0	1	0	0	0	0	1
Wie wurden BIM-Leistungen vereinbart?	Zu BIM wurden keine Vereinbarungen getroffen.	Es existiert ausschließlich ein Vertrag mit einem externen Dienstleister über die Erbringung von BIM-Leistungen. Daneben bestehen keine BIM-spezifischen Abreden mit sonstigen Planungs- u. Ausführungs-beteiligten.	Mit Planenden oder Ausführenden bestehen ausschließlich mündliche Absprachen über die Nutzung von BIM.	Die Einbeziehung von BIM in den Planungs- und/oder Ausführungsprozess wurde mit Planenden oder Ausführenden ausschließlich in Bau-/Planungsbesprechun gsprotokollen geregelt.	Es existiert ein BIM-Abwicklungsplan. Die Verträge und Leistungsbilder mit Planern / Ausführenden (unter Berücksichtigung aller Nachträge) blieben im Vergleich zu konventionellen Bauvorhaben unverändert.	Es existiert ein BIM-Abwicklungsplan. Außerdem enthalten die Verträge/Leistungsbild er der Planer/Ausführenden BIM-spezifische Regelungen oder es werden sogar BIM-spezifische Partnering Modelle angewendet.	Punkte
	0	1	0	0	0	0	1
Enthalten die Verträge allgemeine BIM-spezifische Regelungen?	Nein.	Ja, zu einem der genannten Punkte.	Ja, zu zwei der genannten Punkte.	Ja, zu drei der genannten Punkte.	Ja, zu vier der genannten Punkte.	Ja, zu mind. fünf der genannten Punkte.	Punkte
	0	0	2	0	0	0	2
Zugriffs- und Geheimhaltungsrechte zu BIM-Daten <input checked="" type="checkbox"/> Urheberrechten an BIM-Daten <input checked="" type="checkbox"/>							
Wurden vertragliche Abreden zur Planung getroffen?	Nein.	Ja, zu einem der genannten Punkte.	Ja, zu zwei der genannten Punkte.	Ja, zu drei der genannten Punkte.	Ja, zu vier der genannten Punkte.	Ja, zu mind. fünf der genannten Punkte.	Punkte
	x						0
Wurden vertragliche Abreden zur Ausschreibung getroffen?	Nein.			Ja, zu einem der genannten Punkte.	Ja, zu zwei der genannten Punkte.	Ja, zu drei der genannten Punkte.	Punkte
	x						0
Wurden vertragliche Abreden zur Ausführung und Objektüberwachung getroffen?	Nein.	Ja, zu einem der genannten Punkte.	Ja, zu zwei der genannten Punkte.	Ja, zu drei der genannten Punkte.	Ja, zu vier der genannten Punkte.	Ja, zu mind. fünf der genannten Punkte.	Punkte
	x						0
<b>Gesamt</b>							<b>0.67</b>

Abbildung 4: Reifegrad der Verträge

### 3.4 Technologie

Die 3D-, 4D- und 5D-Modellierung wurde durch den Auftragnehmer auf Basis der vom Auftraggeber bereitgestellten Pläne und zusätzlicher Informationen (Vermessungsdaten, etc.) mit Hilfe von kommerziellen Softwaresystemen und eigener Konvertierungs- und



Visualisierungssoftware erstellt. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Modellierungsschritte, die eingesetzte Technologie und die Datenübergabeformate.

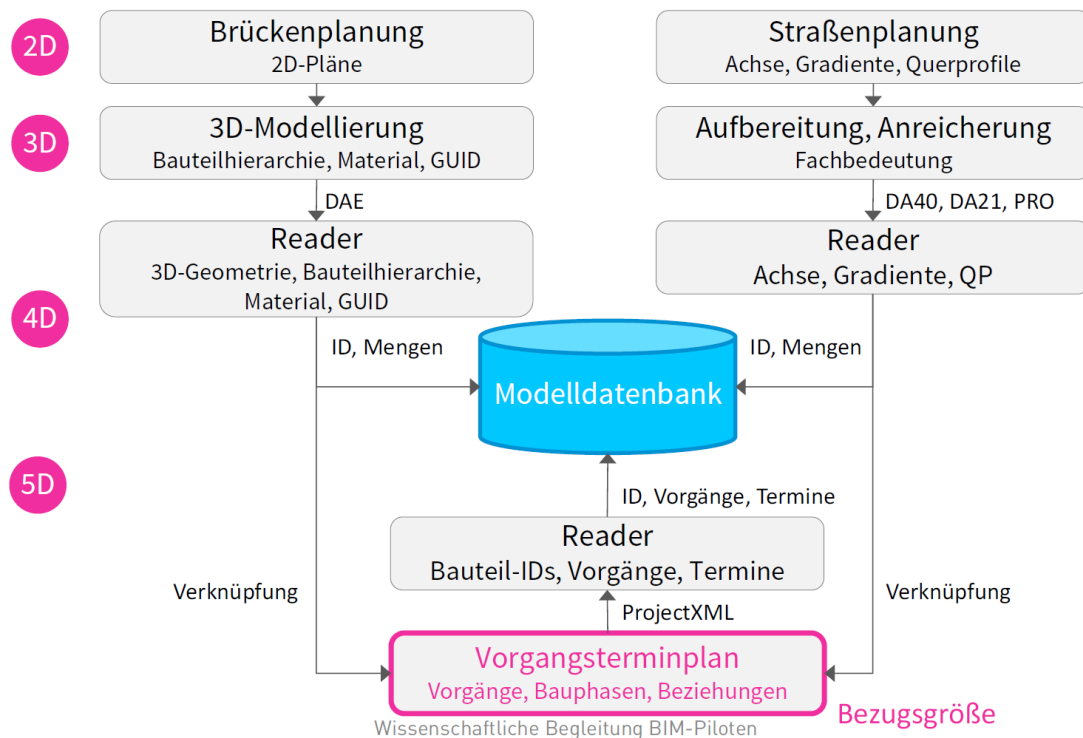


Abbildung 5: Vorgehensweise zur Erstellung des 3D-, 4D- und 5D-Modells mittels smartrass (Quelle: QLX GmbH)

Bei der Modellierung der Verkehrsanlage (einschl. Erdbauwerke) und der Ingenieurbauwerke wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt. Grundlage für die Modellierung der Verkehrsanlage war die zuvor mit der Trassierungssoftware CARD/1 erstellte konventionelle Planung. Daher wurden aus CARD/1 Achsen im Datenformat KA40, die zugehörigen Gradienten im Format DA21 sowie die Querprofile im proprietären Format PRO exportiert. Mit Hilfe eines Konverters wurden diese Daten gelesen und daraus triangulierte 3D-Körper entwickelt, die mit weiteren Meta-Informationen (z. B. Fachbedeutung der Querprofile) angereichert wurden. Als äußerst problematisch wurde vom Auftragnehmer die Dokumentation der Querprofil-Linien und der Punkte im Querprofil (Fachbedeutung) benannt. Daher war ein erhöhter manueller Aufwand zur Erzeugung korrekter 3D-Geometrien erforderlich. Die Nutzung des OKSTRA-Formats war nicht möglich, da die notwendigen Fachbedeutungen bereits im Ursprungsprojekt nur unzureichend vorhanden waren.

Als 3D-Modellierungswerkzeug wurde Trimble SketchUp Pro gewählt, hauptsächlich wegen der unterstützten Georeferenzierung und der Programmierschnittstelle, die die Erstellung parametrischer Geometrien erlaubt. Dies ermöglichte die effiziente Erstellung der zum Teil komplexen Geometrien des Überbaus und der Pfeiler. Allerdings wurden

vom Auftragnehmer über Leistungsprobleme des Programms beim Umgang mit großen Datenmengen berichtet. Für den Export der 3D-Geometrie kam das standardisierte Datenformat DAE/COLLADA<sup>2</sup> zum Einsatz, das den Transport georeferenzierter Objekte mit Semantik unterstützt.

Das erstellte Gesamtmodell wurde in einer relationalen Datenbank abgelegt. Dies ermöglichte die Verwaltung und Verknüpfung aller Bestandteile (3D-Geometrien, Mengen, Kosten, Vorgänge/Termine) sowie die spätere Auswertung. Für die Visualisierung des Gesamtmodells kam die Software smarttrass zum Einsatz. Dabei handelt es sich um eine vom Auftragnehmer entwickelte 3D-Trassierungssoftware, die entsprechende Funktionen zum Import, der Verarbeitung und 3D-Visualisierung von Geodaten bietet. Für die zeitabhängige Visualisierung des 4D-Modells wurde im Zuge des Projekts die Erweiterung „BIM View“ entwickelt. Diese beinhaltet Funktionen für den Import, die Aggregation der 3D-Geometrien sowie die Integration der Datenbank, in der alle Daten miteinander verknüpft vorgehalten sind. Eine formale Modellprüfung seitens des Auftraggebers erfolgte nicht.

Eine zusätzliche Erweiterung erlaubte die Verknüpfung mit dem Planmanagementsystem EPLASS. Neben der Integration der Authentifizierungsfunktion wurden die Bauteile aus der Modelldatenbank mit den zugehörigen 2D-PDF-Plänen aus dem Planmanagementsystem verknüpft. Über eine Web-Ansicht war es möglich, ein Objekt in der Bauteiltabelle oder 3D-Ansicht auszuwählen und auf die zugehörigen Pläne zuzugreifen, um ggf. ein Redlining<sup>3</sup> durchzuführen. Die Projektplattform EPLASS selbst fungierte im Projekt als Planmanagementsystem für die Bauausführung. Sie bot keine weitergehende Unterstützung für Modelle, da sie nicht über die Funktionalitäten einer Gemeinsamen Datenumgebung nach ISO 19650 für die Modelldaten verfügt. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads der eingesetzten Technologien:

Wird ein CDE nach PAS 1192 verwendet? Auf welchem Niveau befindet sich das eingesetzte CDE? Welche Features werden unterstützt?	Emailaustausch	geteiltes Dateilaufwerk, einfache Ordnerstruktur	Dokumentenmanagementsystem mit Namenskonventionen für Dateien	Projektraum ohne Workflow	Projektraum mit Workflowunterstützung nach ISO 19650 (PAS1192)	zentraler Modellservers	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	
Datenaustauschformate	keine definiert	ausschließlich proprietäre Formate		offene Formate für bestimmte Szenarien		ausschließliche Verwendung von offenen Formaten	Punkte
	0	0	0	0	x 4	0	
Erfüllt die eingesetzte Software die Anforderungen an die Projektbearbeitung?	nicht geeignet	Software ist nur bedingt geeignet		Software ist geeignet, jedoch nicht performant	es gibt nur wenige Schwierigkeiten	Software erfüllt alle Anforderungen	Punkte
	0	0	0	0	x 4	0	

<sup>2</sup> ISO/PAS 17506

<sup>3</sup> Erstellen von Anmerkungen innerhalb eines Viewers

Erfüllt die eingesetzte Hardware die Anforderungen an die Projektbearbeitung?	nicht geeignet	Hardware war nicht immer verfügbar	Performanz war nicht ausreichend		es gibt nur wenige Schwierigkeiten	erfüllt alle Anforderungen	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	5
<b>Gesamt</b>							<b>4</b>

Abbildung 6: Reifegrad der Technologie

### 3.5 BIM-Team

Das BIM-Team setzte sich auftraggeberseitig aus dem Projektleiter und auftragnehmerseitig aus den beiden Mitarbeitern der Firma QLX zusammen. Die Rollen wurden nicht formal beschrieben, allerdings ergaben sich aus den Verträgen und der Leistungsbeschreibung die vom Auftragnehmer durchzuführenden Aufgaben. Diese lagen im Wesentlichen im Bereich „BIM-Modellierer“, also in der eigentlichen Modellerstellung. Ein BIM-Koordinator oder ein BIM-Manager waren wegen der einfachen Struktur des BIM-Projekts nicht erforderlich. Auftragnehmerseitig war erhebliches technisches Wissen zur geometrischen Modellierung, zu verfügbaren Datenformaten und zur Überführung von 2D-Planungsdaten des Infrastrukturbaus in 3D-Modelle vorhanden. Dies resultierte in einer umfangreichen Entwicklung von benötigten Softwarebausteinen im Rahmen des Projekts. Gleichzeitig war Wissen zum Aufbau und Verwendung semantischer Informationen (z.B. Bauteileigenschaften und Klassifikation) nur eingeschränkt vorhanden. Auftraggeberseitig waren zu Beginn des Projekts nur äußerst eingeschränkte Kenntnisse zur BIM-Methodik vorhanden. Es wurden keine weiteren BIM-spezifischen Rollen bzw. Aufgaben (z.B. Modellprüfung) übernommen, da diese nicht notwendig waren. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads des BIM-Teams:

Wurden BIM-spezifische Rollen definiert und zugewiesen?	keine Rollenzuweisung		Rollen waren nicht ganz klar		es gab nur wenige Missverständnisse	Rollenzuweisung entsprechend BIM-Leitfaden	Punkte
	0	0	x 2	0	0	0	2
BIM-Wissen und -Erfahrung: Modellerstellung	kein Wissen	rudimentäres BIM-Wissen		ausreichendes BIM-Wissen	gutes BIM-Wissen	umfangreiches technisches und organisatorisches Wissen sowie Projekterfahrungen	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
BIM-Wissen und -Erfahrung: Modellkoordination	kein Wissen	rudimentäres BIM-Wissen		ausreichendes BIM-Wissen	gutes BIM-Wissen	umfangreiches technisches und organisatorisches Wissen sowie Projekterfahrungen	Punkte
	0	x 1	0	0	0	0	1

BIM-Wissen und -Erfahrung: Modellprüfung	kein Wissen	rudimentäres BIM- Wissen		ausreichendes BIM- Wissen	gutes BIM-Wissen	umfangreiches technisches und organisatorisches Wissen sowie Projekterfahrungen	Punkte
	0	x 1	0	0	0	0	1
Wurden die Beteiligten im Umgang mit BIM-Modellen geschult?	keine Schulung	Dokumentation wurde bereitgestellt		Frontalschulung ohne Übungen	Schulung mit praktischen Übungen	Individuelle fortlaufende Schulung	Punkte
	x 0	0	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>							<b>1.40</b>

Abbildung 7: Reifegrad des BIM-Teams

### 3.6 Leistungsphase 2 und 3

Das Projekt wurde in den Leistungsphasen 2 und 3 konventionell geplant. Die erstellten Modelle hatten keinen Einfluss auf die Planung. Eine Bewertung der Anwendung von BIM in Leistungsphase 2 und 3 konnte daher nicht vorgenommen werden.

### 3.7 Leistungsphase 4 und 5

Das Projekt wurde in den Leistungsphasen 4 und 5 konventionell geplant. Die erstellten Modelle hatten keinen Einfluss auf die Planung. Eine Bewertung der Anwendung von BIM in Leistungsphase 4 und 5 konnte daher nicht vorgenommen werden.

### 3.8 Leistungsphase 6 und 7

Die Leistungsphasen 6 und 7 wurden im Rahmen der betrachteten Laufzeit der wissenschaftlichen Begleitung nicht behandelt und können daher auch nicht bewertet werden. Mengen wurden lediglich im Nachhinein plausibilisiert.

### 3.9 Ausführung

Grundlage für die Modellierung der neuen Ingenieurbauwerke bildet die konventionelle 2D-Ausführungsplanung. Für die Bestandsbauwerke lagen lediglich Bauwerksskizzen in Form gescannter Pläne vor. Die Bestandsmodellierung des Geländes und der existierenden Verkehrsanlage war eine wichtige Voraussetzung für die Plausibilisierung der Volumina der Erdarbeiten. Hierzu wurden die Daten des vorliegenden CARD/1-Projekts genutzt, das u.a. Bestands-Oberflächenlinien und entsprechende Linien der seitlichen Entwicklung zu Böschungen und Mulden enthielt. Zur Erstellung des 3D-Bestandsmodells wurde zudem von folgenden Datenquellen Gebrauch gemacht:

- Digitales Geländemodell als Raster (DGM2 und DGM5)

- Digitale Orthophotos in 20 cm-Auflösung (DOP)
- Digitale Topografische Karte (DTK 10)
- Digitales 3D-Stadt- und Landschaftsmodell im CityGML-Format

Auf dieser Basis konnte mit geringem manuellen Aufwand ein 3D-Modell des Bestands im Bereich der Verkehrsanlage modelliert werden. Die Bestandsbauwerke BW 15 und BW 14-Ü2 waren durch einen hohen Standardisierungsgrad charakterisiert und konnten weitgehend problemlos mithilfe der eingesetzten Software Trimble SketchUp Pro modelliert werden (Abbildung 8). Der Detaillierungsgrad der Bestandsbrücken war sehr hoch. Für die 4D-Visualisierung des Bauablaufs wäre eine schematische Modellierung hinreichend gewesen.

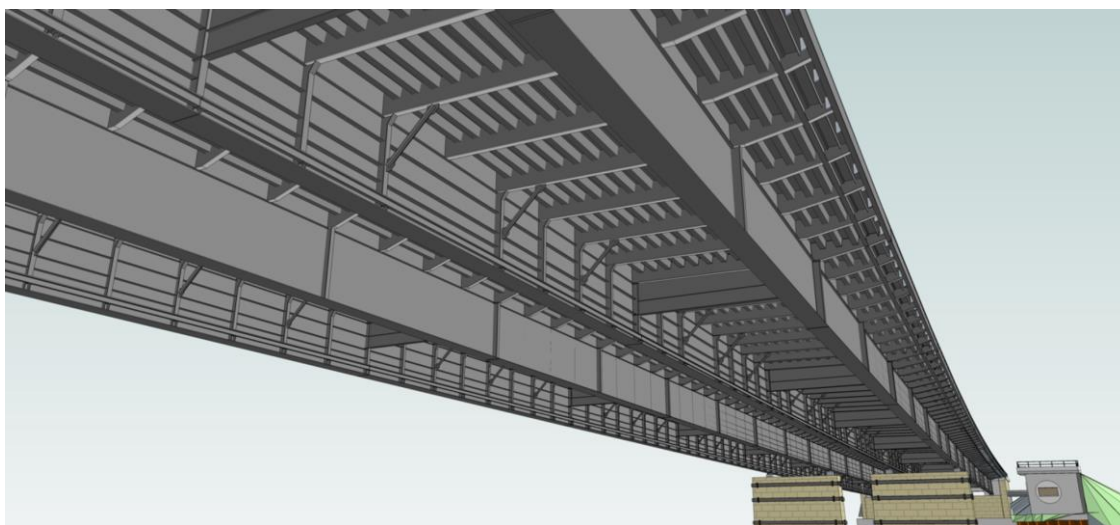


Abbildung 8: Modellierung des Bestandsbauwerks BW15 (Quelle: QLX GmbH)

Grundlage für die Modellierung der neuen Ingenieurbauwerke sowie des Fledermausquartiers waren detaillierte Pläne der Ausführungsplanung sowohl im PDF-, als auch im DWG-Format. Neben den eigentlichen Bauwerksplänen lagen zudem Montagepläne für den Neubau sowie Materialverteilungspläne vor, in denen die Blechstärken des Stahlhohlkastens verzeichnet waren.

Die 3D-Modellierung anhand der vorliegenden 2D-Pläne gestaltete sich schwierig. Die mit der 3D-Modellierung beauftragte Firma QLX stellt in der Projektdokumentation fest: „Bauteile des Fledermausquartiers und der Widerlagerseiten der Neubaubrücke über den Petersdorfer See wurden teilweise sehr komplex ausgebildet. Beispielsweise überlagern sich gekrümmte Oberflächen der Seitenwände gleichzeitig mit Bossen. Aber auch die Pfeiler der Neubaubrücke weisen zweiachsig gekrümmte Oberflächen auf. Aufgrund der rein zweidimensionalen Darstellung waren einige Bauteile nicht eindeutig dreidimensional definiert. Erschwerend kam hinzu, dass vereinzelt wichtige Angaben zu Abmessungen oder Krümmungsradien fehlten. Diese wurden dann in der Zeichnung selbst nachgemessen. Der Stahlhohlkasten der Neubaubrücke ist durch eine hohe

Materialoptimierung gekennzeichnet, die sich in regelmäßig wechselnden Blechstärken der Hohlkastenstege äußert. Diese sind in den Materialverteilungsplänen verzeichnet und führen zu einem komplexen 3D-Modell, da die Stärken der Obergurte, Untergurte und Stege jeweils unabhängig voneinander variieren. Des Weiteren sind die Unterseiten des Stahlüberbaus entlang der Achse gevoutet, abhängig von den Außen- oder Innenfeldern jeweils mit anderem Krümmungsradius. Das führt zu einer doppelt gekrümmten Raumlinie und damit zu einer komplexen 3D-Geometrie. Weiterhin führt die Voutung entlang der Achse dazu, dass die Abmessungen der aufeinander folgenden Querschotte im Hohlkasten ständigen Änderungen unterliegen“ (siehe Abbildung 9). Eine weitere Herausforderung ergab sich durch abweichende Stationsangaben für die Verkehrsplanung in den Planungsunterlagen der Ingenieurbauwerke.

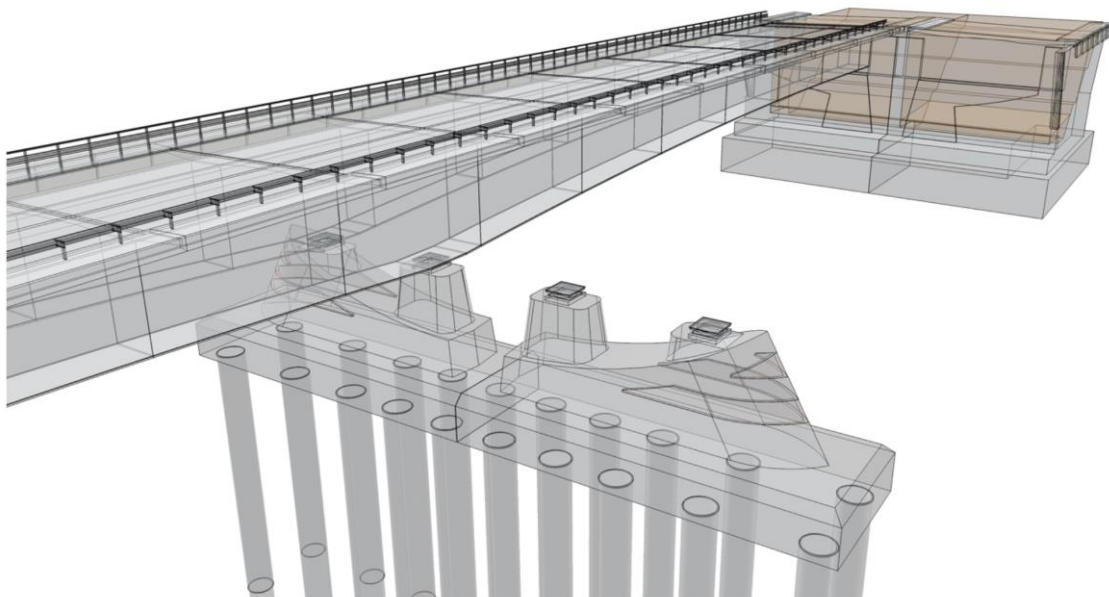


Abbildung 9: Modellierung des Neubaus der Brücke über den Petersdorfer See (Quelle: QLX GmbH)

Die Brücke wurde im Hinblick auf die angestrebte Nutzung des Modells vereinfacht modelliert. So wurden die Ober- und Unterzüge, die Stege und die Querschotten mit einheitlicher Materialstärke ausgebildet. Die aus der Krümmung im Lageplan und der Voutung resultierende komplexe Geometrie der Stahlträger konnte mithilfe eines parametrischen Ansatzes (Skriptprogrammierung per Programmierschnittstelle) erfolgreich modelliert werden. Die Ausbildung der Brückenpfeiler war durch die doppelte Krümmung der Oberfläche komplex und wurde ebenfalls parametrisch modelliert. Die Widerlager sind hingegen geometrisch vergleichsweise einfach und konnten mit geringem Aufwand direkt in 3D konstruiert werden. Die Konstruktion der Geländer und Schutzeinrichtungen ließ sich durch die wiederkehrende Abfolge parametrisch abbilden

und dadurch Konstruktionszeit einsparen. Eine Modellierung der Bewehrung der Stahlbetonteile erfolgte nicht.

Das 3D-Modell wurde mit dem Bauzeitenplan (Vertragsterminplan) verknüpft und so ein 4D-Modell erzeugt. Hierfür wurde der Vorgangsterminplan mithilfe des Formats ProjectXML zwischen der ursprünglich eingesetzten Terminplanungssoftware Merlin Project und smarttrass ausgetauscht. Die Zuordnung von Vorgängen zu Bauteilen erfolgte zum Teil händisch und zum Teil mittels einer skriptbasierten Automatisierung. Herausforderungen lagen darin, dass die Vorgangsbeschreibungen des Ursprungsterminplans teilweise nicht eindeutig oder unvollständig waren. Beispielsweise waren die Rückbauten von Provisorien teilweise nicht eindeutig definiert, sondern nur in Sammelvorgängen zusammengefasst, aus denen keine klare Zuordnung hervorging.

Aus dem erzeugten 4D-Modell wurden entsprechende Animationen (Filme) generiert. Zudem wurde eine interaktive Navigation entlang des zeitlichen Verlaufs ermöglicht. Ein Soll-Ist-Abgleich wurde in eingeschränktem Maße zwischen geplantem und realem Bauablauf durchgeführt. Die Zeitkomponente wurde allerdings nicht an die tatsächliche Bauausführung angepasst.

Das erstellte 4D-Modell der Bauausführung wurde mit der erstellten Planung der phasenweisen Verkehrsführung kombiniert, um auf diese Weise die Verkehrsführungsplanung zu validieren. Die ursprünglich erstellte Verkehrsführungsplanung lag in Form von 2D-Plänen im PDF-Format sowie originär in Corel-Draw-Dateien vor. Die Pläne wiesen keine Georeferenzierung auf, waren nicht eingenordet und enthielten keine Höhendaten. Die Integration in das 3D-Modell erforderte erheblichen manuellen Aufwand.

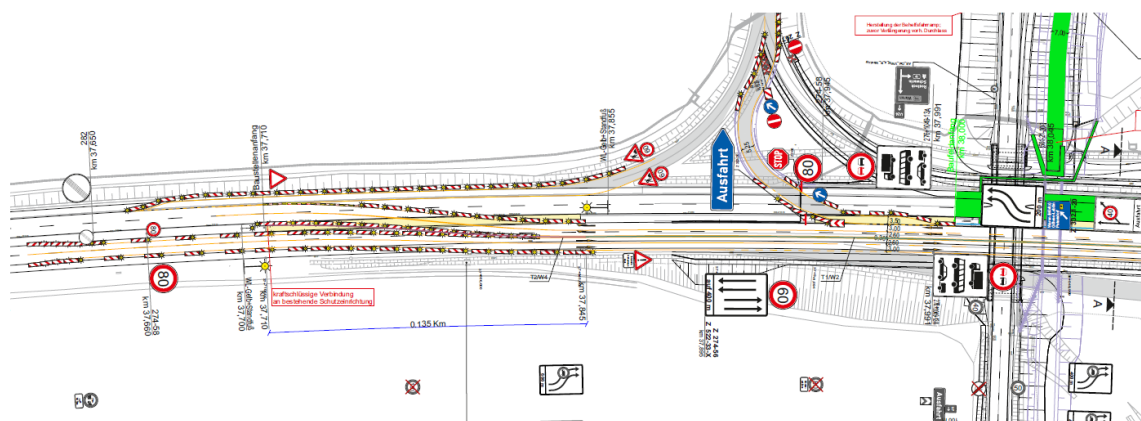


Abbildung 10: Verkehrsführung in der Bauphase 1c (Quelle: DEGES)

Die Zuordnung der Verkehrsphasen zu den Beginn- bzw. End-Vorgängen der Bauphasen in der Vorgangsplanung erfolgte durch einen Eintrag in die Bauteil-ID-Spalte des jeweiligen Vorgangsdatensatzes. Für die Zusammenführung mit dem 3D-Modell mussten

die Gelbmarkierungen, die zunächst nur im Lageplan definiert waren, mit Höheninformationen angereichert werden. Über die Visualisierungsfunktionen von smarttrass wurde die Verkehrsführung visuell validiert.



Abbildung 11: Bauzeitliche Visualisierung der Verkehrsführung (Quelle: QLX GmbH)

Für die Zuordnung von Kosten und die Schaffung eines 5D-Modells wurde ein vereinfachtes Leistungsverzeichnis entwickelt, das sich zwar am Leistungsverzeichnis der Vergabe orientierte, aber dennoch grundlegend davon abwich. Anhand des 3D-Modells wurden Volumina von Erdkörpern und Bauteilen berechnet und mithilfe von entsprechenden Kostensätzen Kosten für die Positionen des vereinfachten Leistungsverzeichnisses ermittelt. Durch die zuvor vorgenommene Verknüpfung mit dem Zeitplan ließ sich somit ein 5D-Modell aufbauen und der (theoretische) Kostenverlauf simulieren (siehe Abbildung 12). Ziel war die Validierung der konventionell ermittelten Mengen des Straßenbaus und der Brücken durch einen Vergleich mit den Volumina der Elemente des 3D-Modells.

Grundlage für die modellbasierte Mengenermittlung des Straßenbaus bildeten die einzelnen Schichten, die aus den begrenzenden Querprofilen als separate Volumenkörper generiert wurden. Daneben bildete die Oberflächenlinie des Bestandsgeländes im Querprofil zusammen mit der Planungslinie die Berechnungsgrundlage für Auftrag und Abtrag. Auf Grund fehlender Attribuierung der Querprofilpunkte gestaltete sich die Triangulation von 3D-Objekten aus den vorhandenen Querprofilen schwierig. Aus Querprofilen ohne Fachbedeutung konnten die Punkte aufeinanderfolgender Stationen zur Bestimmung geschlossener Volumenkörper teilweise nicht automatisch bestimmt werden. Für die Bestimmung des Volumens sind jedoch allseits geschlossene Volumenkörper erforderlich.

Bei der Mengenermittlung erfolgte keine Weitergabe der errechneten Volumina als Attribute aus dem Konstruktionsprogramm. Die Volumenberechnung erfolgte im BIM-



Tool von QLX. Problematisch ist, dass Körper mit gekrümmten Oberflächen durch Dreiecksnetze nur angenähert werden. Volumina von derartigen Bauteilen weichen also umso stärker von der Realität ab, je stärker die Krümmung vereinfacht wird. Im Projekt wurde daher mit dem Grad der Vereinfachung experimentiert.

Die anhand des Volumenmodells berechneten Mengen wurden mit den zuvor konventionell ermittelten Mengen (Gauß-Elling-Verfahren) verglichen. Dabei wurden Abweichungen von bis zu 10 % festgestellt, die zum einen durch den Näherungscharakter des Gauß-Elling-Verfahrens und zum anderen durch die oben beschriebenen Fehler bei der Triangulation von Körpern mit gekrümmten Oberflächen hervorgerufen wurden. Darüber hinaus konnte ein Fehler in der konventionellen Berechnung identifiziert werden.

Um grundsätzliche Aussagen zum Mittelabfluss in der Bauablaufsimulation treffen zu können, wurden die Gesamtkosten auf die einzelnen Phasen im Verhältnis der Bauzeiten aufgeteilt. Darüber hinaus gehende Zuordnungen wurden wegen des zu hohen Aufwandes nicht durchgeführt. Ein Abgleich mit dem tatsächlichen Baukostenverlauf ist nicht erfolgt.

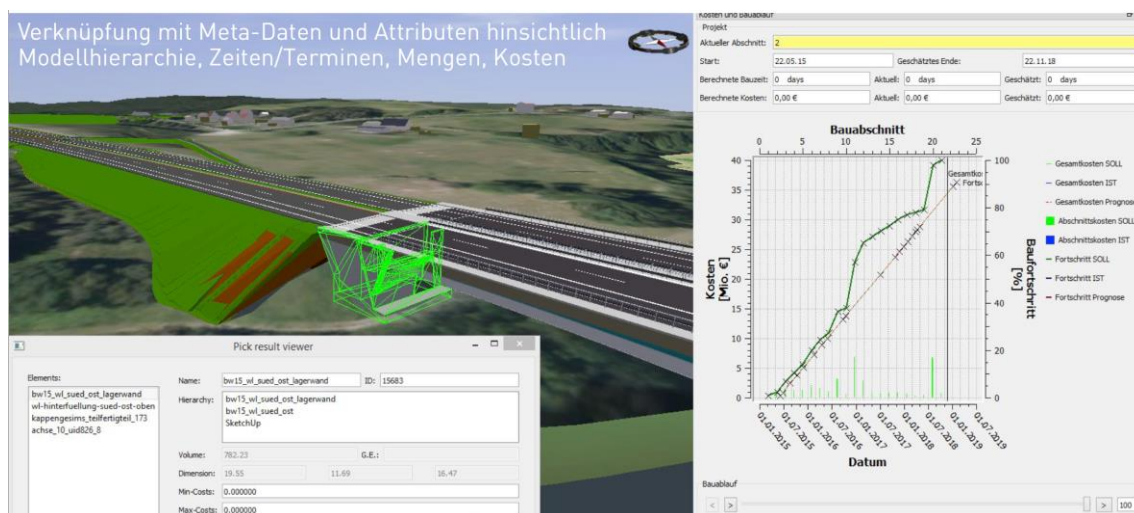


Abbildung 12: Verknüpfung des 3D-Modells mit Vorgängen und Kosten in smarttrass (Quelle: QLX GmbH)

Andere BIM-Anwendungen in der Bauausführung, wie Mängelmanagement, Baufortschrittsverfolgung und Abrechnung, wurden im Pilotvorhaben nicht umgesetzt. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads für die Ausführung:

Wie wurde das Mängelmanagement durchgeführt?	nicht durchgeführt		Herkömmliche Erfassung und manuelle Zuordnung		Erfassung auf Basis eines 3D-Modells	Automatisierte Mängelerfassung (Bildverarbeitung / UAV)	Punkte 0
	x						
	0	0	0	0	0	0	

Wie wurde der wirklich gebaute Zustand dokumentiert?	nicht durchgeführt	Nur qualitative Erfassung		Aufnahme von Punktwolken (z.B. LaserScanning)	As-built-Modell wurde manuell erzeugt	As-built-Modell wurde semi-automatisch erzeugt	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	0
Welche Informationen wurden im Rahmen von Baubesprechungen verwendet? Wie wurden Ergebnisse dokumentiert?	nicht durchgeführt	2D-Pläne (Ausdruck) - Protokolle	3D-Modell - separate Protokolle		Interaktiv am Modell mit einfachen Markierungen	Dokumentation erfolgt vollständig modellbasiert (Alle Informationen sind mit dem Modell verknüpft)	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	0
Wie wurde der Baufortschritt erfasst und dokumentiert?	nicht durchgeführt	manuelle Erfassung des Baufortschritts	Einschätzung des Baufortschritts anhand von Kosten		digitale Erfassung und Verknüpfung mit dem 3D-Modell	Automatisierte Erfassung des Baufortschritts	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	0
Vergleich zwischen der Soll-Planung und des Ist-Zustandes	nicht durchgeführt		Darstellung von Termin- und Kostenabweichungen		modellbasierte Darstellung der Abweichungen	simulationsgestützte Prognosen	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	0
Abrechnung	nicht durchgeführt	konventionelle Abrechnung			modellbasierte Abrechnung Auftraggeber (Auftragnehmer übermittelt die Leistungen traditionell)	modellbasierte Abrechnung Auftraggeber und Auftragnehmer	Punkte
	x						1
	0	1	0	0	0	0	0
Wurde das Modell mit dem Bauzeitenplan verknüpft?	nicht durchgeführt			Verknüpfung von Bauteilgruppen mit grobem Bauzeitenplan		detaillierte Verknüpfung einzelner Bauteile mit den geplanten Bauzeiten	Punkte
	x						3
	0	0	0	3	0	0	0
<b>Gesamt</b>							<b>0.57</b>

Abbildung 13: Reifegrad der Ausführung

### 3.10 Überführung in den Betrieb

Die Übergabe der digitalen Modelle für den Betrieb wurde im Rahmen der betrachteten Laufzeit der wissenschaftlichen Begleitung nicht behandelt und kann daher auch nicht bewertet werden.

## 4 Zusammenfassende Bewertung

Die BIM-Modellierung wurde im Projekt aus technischer Sicht sehr gut umgesetzt. Es wurden sehr gewissenhaft Methoden zur Überführung von 2D-Planungsdaten in 3D-Modelle entwickelt. Dabei wurden unterschiedliche Wege für die Modellierung der Verkehrsanlage und der Ingenieurbauwerke beschritten. Da die Bauausführung bereits begonnen hatte, wurde BIM ausschließlich zur nachträglichen Plausibilisierung

eingesetzt und hatte keine Relevanz für die Planung, die Vergabe oder die Bauausführung. Zur Begleitung der Bauausführung wurde BIM nicht eingesetzt. Der ursprünglich geplante Soll-Ist-Vergleich und die BIM-gestützte Baufortschrittskontrolle wurden nicht umgesetzt. Die erfolgreich umgesetzten Ansätze zur 3D-, 4D- und 5D-Modellierung sind daher vornehmlich als Machbarkeitsstudie zu sehen und nicht als tatsächliche Anwendung der BIM-Methodik in einem Bauprojekt. Die durchgeführten Arbeiten zur Überführung von 2D-Daten in 3D-Modelle haben eindrücklich gezeigt, dass die konventionelle Planung häufig Fehler und Widersprüche aufweist, die erst durch Erstellung eines 3D-BIM-Modells erkannt werden.

Die vertragliche Ausgestaltung des Pilotvorhabens beinhaltete lediglich die Einbindung der Firma QLX GmbH, die alle BIM-Aufgaben übernommen hat. Planer und Ausführende wurden vertraglich nicht in das BIM-Pilotvorhaben eingebunden.

Der Auftraggeber DEGES gibt an, dass er im Zuge des Projekts dennoch wertvolle Erfahrungen gesammelt hat. Dies betrifft insbesondere folgende Bereiche:

- Potenzial von BIM für die Kommunikation und die Abstimmung mit den Projektbeteiligten und mit Dritten (Öffentlichkeit)
- Notwendigkeit zur Ausarbeitung von AIA vor Projektbeginn mit klaren Vorgaben zu Modellumfang, LOD und Klassifikationen
- Erhöhung der Transparenz, Identifizierung von Planungsfehlern
- Potenzial von BIM bei der korrekten Mengenermittlung
- Potenzial von BIM bei der Bauablaufsimulation

Damit konnte das Projekt als erstes BIM-Pilotprojekt des Auftraggebers vor allem der Aufgabe gerecht werden, Potenzial und Handlungsbedarfe zu identifizieren. Die quantitative Bewertung gemäß Reifegradmetrik ist Abbildung 14 zu entnehmen. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine echte BIM-Nutzung in den Leistungsphasen 2/3, 4/5 und 6/7 praktisch nicht erfolgt ist. Lediglich in Ausführung und Betrieb wurden einige wenige Aspekte umgesetzt. Bei AIA und BAP werden ebenfalls nur geringe Punktzahlen erreicht. Der Bereich Technologie erreicht eine relativ hohe Punktzahl, da eine sehr leistungsfähige Software zur 3D-Modellierung eingesetzt wurde.

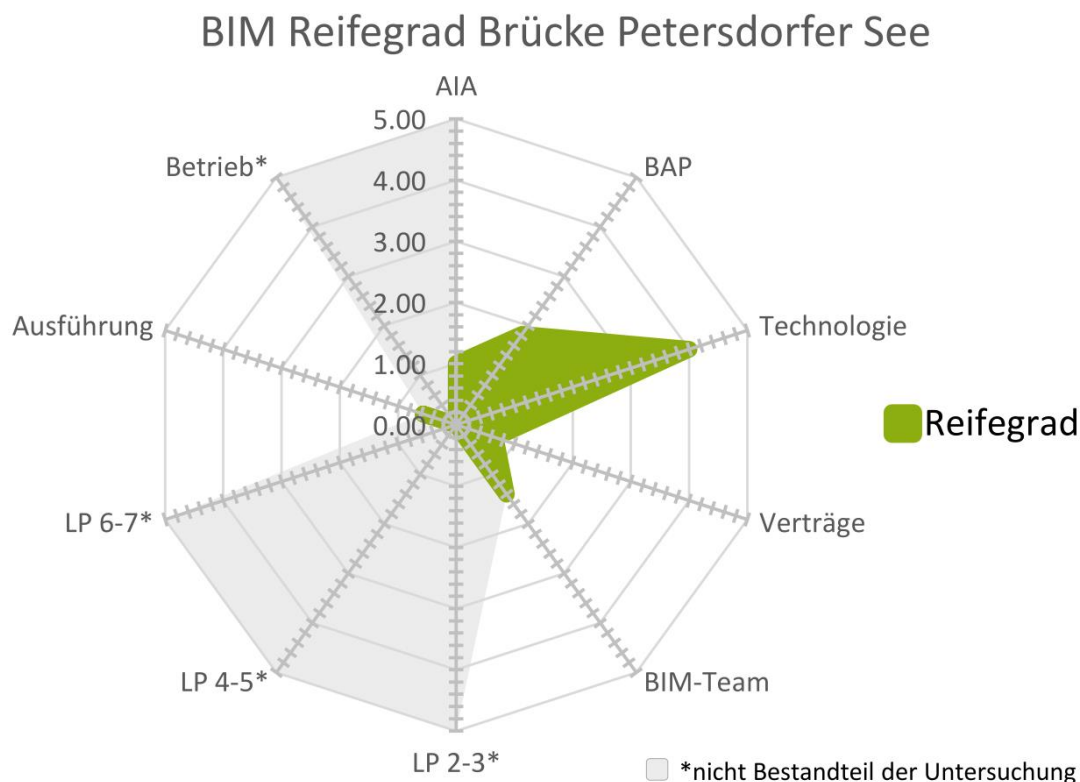


Abbildung 14: BIM-Reifegrad zum BIM-Pilotprojekt Brücke Petersdorfer See

In diesem Pilotvorhaben stand die nachträgliche Plausibilisierung der zuvor durchgeführten konventionellen Planung im Fokus. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine weitgehend automatisierte Überführung von 2D-Planungsdaten der Verkehrsanlagen in 3D-BIM-Modelle möglich ist. Zudem konnten sehr detaillierte 3D-Modelle der Brückenbauwerke erstellt werden. Bei der Brücke über den Petersdorfer See stellte die komplexe Geometrie des Überbaus eine Herausforderung dar, die aber bewältigt werden konnte. Im Nachgang konnten die 3D-, 4D- und 5D-Modellierungen für eine tiefgreifende Überprüfung der vorhandenen Planung herangezogen werden und belegten dem Auftraggeber die mit der BIM-Methode einhergehende Erhöhung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Planungen. Infolge der fortgeschrittenen Phase des Bauvorhabens konnten die Modelle bedauerlicherweise nicht für reale Aufgaben, wie die Abrechnung von Bauleistungen, das Mängelmanagement oder die Baufortschrittskontrolle, herangezogen werden.