

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

**Endbericht**

**Wissenschaftliche Begleitung  
Pilotprojekt Tunnel Rastatt**

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



OBERMEYER  
PLANEN + BERATEN GmbH



## Inhaltsverzeichnis

<b>Ansprechpartner</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Projektübersicht</b> .....	<b>4</b>
<b>2 BIM-Ziele</b> .....	<b>5</b>
<b>3 Auswertung des BIM-Reifegrads</b> .....	<b>6</b>
3.1 Auftraggeber-Information-Anforderungen.....	6
3.2 BIM-Abwicklungsplan .....	7
3.3 Verträge .....	8
3.4 Technologie.....	11
3.5 BIM-Team .....	12
3.6 Leistungsphase 2 und 3.....	14
3.7 Leistungsphase 4 und 5.....	14
3.8 Leistungsphase 6 und 7.....	16
3.9 Ausführung.....	16
3.10 Überführung in den Betrieb.....	16
<b>4 Zusammenfassende Bewertung</b> .....	<b>16</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

Der Tunnel Rastatt bildet einen wichtigen Bestandteil der Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe–Basel. Im Zuge der Gestaltung eines europäischen Güterkorridors zwischen Rotterdam und Genua wird die Stadt Rastatt durch zwei Tunnelvortriebsmaschinen mit einem Außendurchmesser von knapp 10,97 m unterfahren. Hierbei sind teilweise nur geringe Überdeckungshöhen von weniger als 4 m vorhanden. Um mögliche Oberflächensetzungen zu vermeiden, sind diverse Vereisungsschilde geplant, welche komplett rückstandsfrei aus dem Boden entfernt werden können. Die Tunnelportale sind als schallreduzierende Sonic Boom-Trogbauwerke <sup>1</sup> ausgeführt und werden im Zuge der Tunnelbaumaßnahme zusätzlich errichtet. Am 25.05.2016 erfolgte das offizielle Andrehen der ersten Tunnelvortriebsmaschine zum Auffahren der ca. 4,2 km langen Röhren.

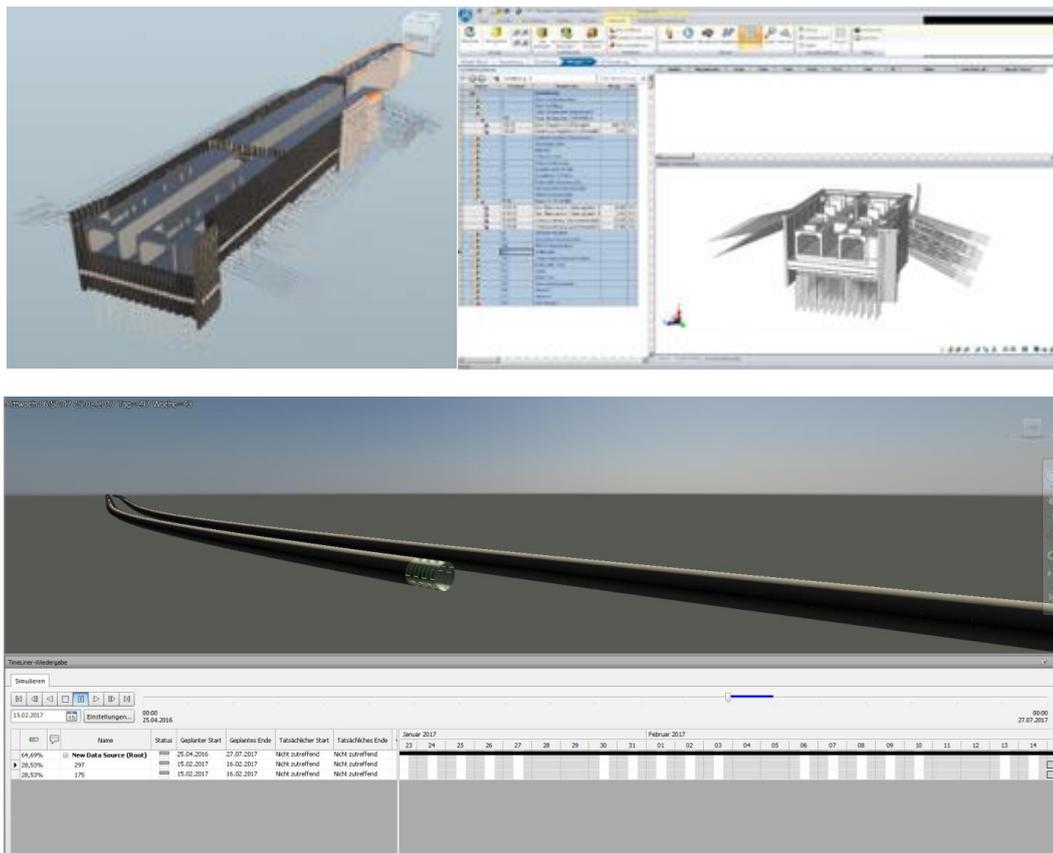


Abbildung 1: BIM-Pilotvorhaben Tunnel Rastatt (Quelle: DB Netz AG)

<sup>1</sup> Der Tunnelknall-Effekt beschreibt den Knall, den Hochgeschwindigkeitszüge bei der Tunneleinfahrt und Tunnelausfahrt erzeugen können. Mit dem Übergang vom beschränkten Querschnitt des Tunnels in den unbeschränkten Querschnitt im Freien entladen sich die vor dem Zug vorangetriebenen Druckwellen schlagartig durch einen Knall. Ob es einen Tunnelknall gibt, hängt unter anderem von der Geometrie der Tunneleinfahrten und Tunnelausfahrten ab. Die Sonic Boom-Trogbauwerke sollen den Überschallknall vermeiden.

Der Tunnelrohbau ist mit einer Bauzeit von drei Jahren geplant. Die Strecke soll nach dem Abschluss aller Arbeiten und einer Inbetriebnahmephase Ende 2022 in Betrieb genommen werden (siehe Abbildung 1).

Der Umfang des BIM-Pilotprojektes Tunnel Rastatt konzentrierte sich auf alle Leistungen, die mit dem Hauptvertrag Tunnelrohbau vergeben wurden. Hierzu zählen beispielsweise das zweiröhrige Tunnelsystem in geschlossener Bauweise (4.720 m), zwei als Mikrodruckwellenbauwerke<sup>2</sup> ausgeführte Tunnelportale sowie zwei Trogbauwerke (800 m und 985 m) im Anschluss an die Tunnelportale.

## 2 BIM-Ziele

Grundlegende Ziele des BIM-Pilotprojektes waren das Sammeln von Erfahrungen und die vergleichende Bewertung zwischen BIM-Prozessen und klassischer Projektbearbeitung. Hierzu sollte die BIM-Planung parallel zur konventionellen Planung durchgeführt werden. Insbesondere sollten mögliche Effizienzsteigerungen der Planungs- und Projektmanagementprozesse durch eine verbesserte Kommunikation und Vernetzung aller Projektbeteiligten erzielt und untersucht werden. Klassische Anwendungsfälle, wie das modellbasierte Zusammenarbeiten verschiedener Fachplaner, sollten die Planungsqualität und Planungssicherheit erhöhen, wodurch eine Reduzierung der Nachträge erwartet wurde. Aufgrund der nachlaufenden BIM-Planung und der sich somit ergebenden Vergleichsmöglichkeiten wurde ein weiterer Fokus auf die Plausibilitätskontrolle der konventionellen Mengenberechnung und den Vergleich zwischen klassischer und modellbasierter Rechnungsstellung gelegt. Folgende BIM-Ziele wurden im Pilotprojekt definiert:

- Verbesserung der Kommunikation und Vernetzung aller Projektbeteiligten
- modellbasierte Zusammenarbeit der Fachplaner
- Steigerung der Effizienz in den Planungs- und Projektmanagementprozessen
- Verbesserung der Leistungsmeldung
- Simulation von Planungsvarianten und Bauzuständen
- Erhöhung der Planungssicherheit und Reduzierung der Nachträge
- Vergleich der klassischen Rechnungsstellung Bau mit einer modellbasierten Rechnungsstellung
- Plausibilisierung konventioneller 2D-Mengenberechnungen
- Erzeugung von 2D-Plänen aus dem Modell
- Planungscoordination und Kollisionsprüfung

---

<sup>2</sup> dient der Verhinderung des Tunnelknalls

- Sammlung und Bewertung der Erfahrungen mit BIM

### 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 und der Projektverlauf in die Bewertung mit einfließen konnte. Im Folgenden werden die nach Themenkomplexen und Leistungsphasen gruppierten Bewertungskategorien erläutert.

#### 3.1 Auftraggeber-Informationen-Anforderungen

Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) wurden im Vorfeld des Projektes nicht explizit definiert. Der im Laufe des Pilotprojektes gemeinschaftlich fortgeschriebene BIM-Abwicklungsplan (BAP) entwickelte sich von einem Lasten- zu einem Pflichtenheft und deckte auch die AIA mit ab. Es wurden grundlegende AIA-Aspekte spezifiziert, wie z.B. Datenaustauschformate oder der Detaillierungsgrad<sup>3</sup> (LOD) (vgl. Abschnitt 3.2). 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
	0	0	0	0	x 4	0	4
<b>Gesamt</b>							<b>4</b>

Abbildung 2: Reifegrad der Auftraggeber-Informationen-Anforderungen

<sup>3</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 erstellt. Der LOD kann also je nach Projektphase bzw. Vereinbarung höher oder niedriger sein.

## 3.2 BIM-Abwicklungsplan

Als gemeinschaftliches Dokument lag die Erstellung des BAP in der Verantwortung des Auftraggebers und des Auftragnehmers. Im BAP wurden definiert:

- BIM-Ziele,
- BIM-Anwendungsfälle,
- Lieferobjekte,
- Verantwortlichkeiten,
- Software, Datenaustausch und gemeinsame Datenumgebung,
- Modellierungsrichtlinien, Kodierung und Informationstiefe,
- Änderungs- und Nutzungsrechte,
- Prozesse bzgl. Koordination und Qualitätskontrolle.

Aufbauend auf den formulierten BIM-Zielen beinhaltet der BAP zwei unterteilte Leistungspakete. Hierbei wurde zwischen der 3D-Datenmigration und der weiterführenden Verknüpfung von Daten mit Zeitplänen, Leistungspositionen und Kosten unterschieden. Festgelegtes Ziel der Datenmigration war insbesondere die Gewährleistung einer kollisionsfreien Planung für die Rohbauarbeiten. Zusätzlich wurde festgelegt, dass 2D-Pläne aus den zu erstellenden 3D-Modellen ableitbar sein müssen. Auf Basis der 3D-Rohbauplanung war die Verknüpfung des Bauzeitenplanes auf Objektebene zu erstellen (3D zu 4D). Die Verknüpfung mit den Kosten sollte auf Objekt- und Strukturebene erfolgen (4D zu 5D).

Die modellbasierte Planung im Projekt Tunnel Rastatt ist im BAP als Sekundärprozess beschrieben, der der konventionellen Planung nachläuft. Hintergrund ist, dass der Tunnel Rastatt erst in einem späten Planungsstadium als BIM-Pilotprojekt durch das BMVI und die DB Netz AG ausgewählt wurde. Ein wesentliches Ziel war daher auch der Vergleich zwischen konventionellen und BIM-basierten Arbeitsmethoden.

Auf Grundlage der qualitativ beschriebenen BIM-Ziele enthält der BAP 17 konkrete BIM-Anwendungsfälle, welche den jeweiligen BIM-Zielen sowie den klassischen Projektphasen zugeordnet sind. Die Beschreibung der einzelnen Anwendungsfälle erfolgte sehr detailliert. Durch die Verknüpfung mit den BIM-Zielen ergab sich somit ein transparentes Gesamtbild des zu erzielenden Nutzens der BIM-Methodik. Ein regelmäßiger Austausch der digitalen Planungsdaten wurde definiert. Die zuliefernden Modelle wurden sehr genau und quantitativ beschrieben. Freigabeprozesse und der Zeitplan für die Übergabe der Eingangsdaten für die Modellierung wurden definiert und mit Unterstützung durch ein Planlaufsystem (FusionLive) realisiert. Aufgrund der Implementierung der BIM-Methodik als Sekundärprozess war der BAP nur Bestandteil der BIM-Planung und wurde nicht innerhalb des gesamten Projektteams verwendet. 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
	0	0	x 2	0	0	0	2
Wurden BIM-Ziele vom Auftraggeber definiert?	keine Ziele definiert	informell und unpräzise Ziele formuliert		qualitative Ziele		es wurden quantitative Ziele festgelegt	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
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
	0	0	0	0	0	x 5	5
Technische Festlegungen	keine Festlegungen	wenige, grobe technische Festlegungen		einige technische Festlegungen (z. B. zu Datenaustauschformaten)		detaillierte Festlegungen zu allen technischen Fragen	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	5
Organisatorische Festlegungen	keine Festlegungen	wenige, oberflächliche Festlegungen		einige Festlegungen zu Verantwortlichkeiten, etc.		detaillierte Festlegungen	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	5
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
	0	0	0	0	x 4	0	4
<b>Gesamt</b>							<b>4.00</b>

Abbildung 3: Reifegrad des BIM-Abwicklungsplans

### 3.3 Verträge

Im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt war bereits ein Konsortium als Generalunternehmer mit den Bauausführungsleistungen beauftragt, als das Projekt zu einem BIM-Pilotprojekt bestimmt wurde. Über die Erprobung von BIM-Leistungen in der Bauausführung wurden nachträglich gesonderte Vereinbarungen mit dem Generalunternehmer getroffen. Der Beauftragungsprozess für die Beauftragung der zusätzlichen BIM-Leistungen erfolgte zweistufig. In einem ersten Schritt wurde eine gesonderte BIM-Beratung am externen Markt ausgeschrieben. Inhalte der ausgeschriebenen BIM-Beratung waren im Wesentlichen die Unterstützung bei der Erstellung eines BIM-Konzeptes, die Prüfung der BIM-Modelle/BIM-Leistungsergebnisse des Generalunternehmers und die Analyse und Dokumentation der BIM-Leistungserbringung des Generalunternehmers. Die Umsetzung des mithilfe des

---

externen Beraters entwickelten BIM-Konzepts wurde in einem zweiten Schritt beim Generalunternehmer nachbeauftragt. Kernelement des Konzepts war ein BAP, der die Dateninhalte und Prozesse beschreibt und der im Projektverlauf in Zusammenarbeit von BIM-Beratung, Generalunternehmer und dem Auftraggeber fortgeschrieben wurde.

Im Rahmen der Beauftragung des Generalunternehmers mit der Umsetzung des BIM-Konzepts wurde ergänzend geregelt, dass dem Auftraggeber weitgehende Nutzungsrechte an den zu erstellenden BIM-Modellen eingeräumt werden. Im Zusammenhang mit der Zurverfügungstellung der BIM-Projektplattform durch den Auftraggeber wurden ferner ergänzende Bestimmungen zum Datenschutz und zur Datensicherheit aufgenommen. Schließlich wurde gesondert geregelt, dass die erstellten Modelle nicht zur Begründung von Nachträgen wegen veränderter Massen oder Terminplanabweichungen herangezogen werden dürfen und die Leistungserbringung des Generalunternehmers im Rahmen der BIM-Planung keine Behinderungstatbestände in Bezug auf die vereinbarten, konventionellen Bauleistungen auslösen kann.

Diese zweistufige Vorgehensweise, bestehend aus vorlaufender Beauftragung eines Dienstleisters zur Entwicklung eines BIM-Konzepts für den Auftraggeber und nachfolgender Beauftragung der Planungs- oder Bauausführenden auf der Grundlage der zuvor identifizierten BIM-Leistungen, entspricht einem derzeit in BIM-Pilotprojekten üblichen und sachgemäßen Vorgehen. In BIM-Projekten bedient sich der Auftraggeber oftmals zunächst eines externen Dienstleisters („BIM-Berater“/„BIM-Manager“) zur Unterstützung der Definition seines „BIM-Beschaffungsbedarfs“. Marktübliche BIM-Management-Beauftragungen schließen, wie hier, neben der BIM-Konzepterstellung weitere Unterstützungsleistungen für die Überwachung der Einhaltung der definierten BIM-Vorgaben im Bauprojekt mit ein.

Eine der eigentlichen Vergabe von Planungs- oder Bauleistungen vorlaufende BIM-Beratung ist derzeit zu empfehlen, wenn der Auftraggeber seine BIM-Anforderungen nicht eigenständig definieren kann. Mittelfristig werden sich standardisierte Leistungsbilder für BIM-Leistungen in der Planung und Bauausführung etablieren, die in absehbarer Zeit bei Standardprojekten einen Rückgriff auf einen externen BIM-Berater in der Projektvorbereitungsphase entbehrlich machen.

In diesem Pilotprojekt wurden vorausschauend die Themenstellungen Urheberrecht und Datenschutz sowie Datensicherheit adressiert. Die Themen Datenschutz und Datensicherheit erfordern eine besondere Sensibilität, insbesondere wenn Cloud-Dienste eingesetzt werden sollen. Im Hinblick auf ergänzende Urheberrechtsbestimmungen ist zu hinterfragen, inwiefern modellbasiert abgeforderte Leistungen als geistiges Werk urheberrechtlich schutzfähig und neue Nutzungsmöglichkeiten zu regeln sind. Die ergänzenden Regelungen zur modellbasierten Nachtragsbegründung und zur

Behinderung des konventionellen Parallelprojekts sind nachvollziehbare Spezialregelungen, die dem Pilotcharakter des Projekts geschuldet sind.

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.	<b>BIM-Leistungen wurden mit einem externen Dienstleister vereinbart, dessen Leistungen in dem Planungs- und/oder Ausführungsprozess berücksichtigt werden.</b>	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	0	x 2	0	0	0	
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-/Planungsbesprechungsprotokollen geregelt.	<b>Es existiert ein BIM-Abwicklungsplan. Die Verträge und Leistungsbilder mit Planern / Ausführenden (unter Berücksichtigung aller Nachträge) blieben im Vergleich zu konventionellen Bauvorhaben unverändert.</b>	Es existiert ein BIM-Abwicklungsplan. Außerdem enthalten die Verträge/Leistungsbilder der Planer/Ausführenden BIM-spezifische Regelungen oder es werden sogar BIM-spezifische Partnering Modelle angewendet.	Punkte
	0	0	0	0	x 4	0	
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.	<b>Ja, zu vier der genannten Punkte.</b>	Ja, zu mind. fünf der genannten Punkte.	Punkte
	0	0	0	0	x 4	0	
Zugriffs- und Geheimhaltungsrechte zu BIM-Daten x Urheberrechten an BIM-Daten x Regelungen über die Verwendung der Projektplattformen zum BIM-Management x							
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.	<b>Ja, zu mind. fünf der genannten Punkte.</b>	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	
LOD von Modellen x Ablauf der BIM-Planungskoordination x Durchführung bestimmter Regelprüfungen x BIM-gestützte Termin-/Kostenplanung x Einbeziehung von Knowhow Ausführender in Planungsprozessen x							
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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	
<b>Gesamt</b>							<b>2.50</b>

Abbildung 4: Reifegrad der Verträge

### 3.4 Technologie

Zur fortlaufenden Datenverknüpfung wurden Softwaretools zur Modellierung (1), Modellkoordination (2) sowie für die Datenhaltung (3) und die zu verwendenden Datenaustauschformate (4) wie folgt definiert:

1. Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D, Autodesk Revit Dynamo,
2. ceapoint desite MD, Autodesk Navisworks, RIB iTWO 5D,
3. FusionLive, iTWO-5D-Hosting-Plattform,
4. IFC, CPIXML, native Formate.

Für die Terminplanung wurde auf die im Zuge der klassischen Planung durch Microsoft Project erstellten Terminpläne zugegriffen. Die Konzepte zur Datenhaltung entsprechen nicht den Definitionen einer gemeinsamen Datenumgebung (CDE) nach UK PAS 1192-2 bzw. ISO 19650. Die Haltung der BIM-Daten wurde durch das Planverwaltungssystem FusionLive und die iTWO-5D-Hosting-Plattform realisiert. Zur Archivierung von Planungsständen wurden die jeweiligen Planungsphasen in iTWO-5D eingefroren. Eine Versionsverwaltung der Planungsstände erfolgte über FusionLive. Die verschiedenen hier genutzten Systeme sollten nur als Zwischenlösung gesehen werden. Ein einheitliches System zur gemeinsamen Datenhaltung, welches von allen Projektbeteiligten kontinuierlich genutzt werden kann, ist anzustreben.

Die eingesetzten Softwaretools zur Modellierung waren für die Erstellung der 3D-Modelle für das Pilotprojekt geeignet. Allerdings ergab sich aufgrund der aktuell noch nicht existierenden Objektkataloge und Standardbibliotheken ein deutlich erhöhter Modellierungsaufwand. Angesichts der räumlichen Ausmaße der Baumaßnahme wurden für verschiedene Abschnitte einzelne Teilmodelle erstellt und koordiniert. Insbesondere für die Anwendungsfälle 4D-Modellerstellung, Darstellung des Bauablaufs und 5D-Kostenanalyse erwies sich dies als unvorteilhaft, da die Erstellung von Teilmodellen auch zu geteilten Termin- und Kostenplänen führte. Der Datenaustausch im Team erfolgte im Wesentlichen unter Verwendung von proprietären Formaten. Die Bauwerksmodelle wurden aber auch im IFC<sup>4</sup>-Format exportiert und evaluiert. Alle Objekte wurden exportiert und konnten mit entsprechenden 3D-Viewern geladen und visualisiert werden.

Die Verknüpfung der 3D-Modelle mit der Terminplanung erfolgte im Pilotprojekt Tunnel Rastatt unter Verwendung von Autodesk Navisworks und ceapoint deside MD. Eine Verknüpfung des Leistungsverzeichnisses mit den Modellobjekten fand in RIB iTWO-5D statt.

Vom Auftragnehmer wurde teilweise ein zu hoher geometrischer Detaillierungsgrad umgesetzt. Die Umwandlung gekrümmter Geometrien in eine dreiecksbasierte

---

<sup>4</sup> Industry Foundation Classes

Darstellung erzeugt eine besonders große Anzahl darzustellender Dreiecke. Diese Umwandlung betrifft jedoch ausschließlich die visuelle Darstellung der Objekte und beeinflusst nicht die Informationstiefe des Modells. Der umgesetzte Detaillierungsgrad war für einen Teil der definierten BIM-Anwendungsfälle nicht erforderlich. Vereinzelt Schnittstellenprobleme traten bei der Übergabe von Revit-Modellen an iTWO-5D auf. Eine Prüfung auf Kompatibilität bei der Übergabe von Fachmodellen ist in jedem Falle erforderlich. Die konsolidierten Fachmodelle enthielten ca. 35.000 Elemente, welche mit ca. 3.000 Aktivitäten und 3.500 Positionen des Leistungsverzeichnisses (LV) verknüpft wurden. Die verwendete Hardware erfüllte die Anforderungen zur Erfüllung der definierten Anwendungsfälle. Bezugnehmend auf die noch zu klärenden vertraglichen Rahmenbedingungen, insbesondere zur Thematik der Datenhoheit, lässt sich festhalten, dass ein firmeninternes Datenhosting für viele Softwaretools möglich ist. Dies erzeugt jedoch erwartungsgemäß einen erhöhten Administrations- und Wartungsaufwand. 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?	Emilaustausch	geteiltes Dateilaufwerk, einfache Ordnerstruktur	Dokumentenmanagementsystem mit Namenskonventionen für Dateien	Projektraum ohne Workflow	Projektraum mit Workflowunterstützung nach ISO 19650 (PAS1192)	zentraler Modellservers	Punkte
	0	0	x 2	0	0	0	2
Datenaustauschformate	keine definiert	ausschließlich proprietäre Formate		offene Formate für bestimmte Szenarien		ausschließliche Verwendung von offenen Formaten	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
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	x 3	0	0	3
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	x 4	0	4
<b>Gesamt</b>							<b>3</b>

Abbildung 5: Reifegrad der Technologie

### 3.5 BIM-Team

Das BIM-Team setzte sich aus Verantwortlichen der DB Netz AG, dem ausführenden Konsortium, bestehend aus Ed. Züblin AG und der HOCHTIEF ViCon GmbH, sowie einer von der Arup Deutschland GmbH übernommenen Beraterrolle zusammen. Die einzelnen Rollenbilder der Projektbeteiligten sind im BAP detailliert beschrieben und zusätzlich in die Kategorien Leitung, Ausarbeitung und Nutzung gegliedert.

- BIM-Leitung
  - Verantwortung und Konzeption des BAP
  - Verantwortung und Überwachung der BIM-Implementierung
- BIM-Berater
  - Methodische Unterstützung der BIM-Leistungen
- BIM-Manager / BIM-Manager-Baustelle
  - Steuerung der BIM-Implementierung
  - Koordinierung der BIM-Anwendungsfälle
  - Prüfung und Koordination der Teilmodelle sowie entstehender Zwangspunkte
- BIM-Ausarbeitung
  - Erstellen von Teilmodellen
- BIM-Nutzung
  - Nutzung der BIM-Anwendungen

Auf dieser Basis ist für jeden Anwendungsfall die jeweilige Rolle des Projektbeteiligten festgelegt. Kompetenzen zur Modellerstellung lagen hier bei dem Auftragnehmer-Konsortium. 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	0	0	x 4	0	
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	0	0	x 5	
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	0	0	0	0	x 5	
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	0	0	0	0	x 5	
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
	0	0	0	0	x 4	0	
<b>Gesamt</b>							<b>4.60</b>

Abbildung 6: 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

Die BIM-Modelle wurden auf Basis der konventionellen Planung erstellt. Der Anwendungsfall 2D-Planableitung wurde erfolgreich an den 3D-Teilmodellen der Trogbauwerke durchgeführt. Die im BAP definierten Detaillierungsgrade für alle weiteren Teilmodelle waren nicht auf diesen Anwendungsfall ausgerichtet. Aufgrund fehlender Bauteilkataloge wurde ein eigenes Klassifikationssystem für Tunnelbauwerke erarbeitet. Analog verhält es sich für die Definition von Merkmalen für die einzelnen Modellobjekte.

Zur Durchführung der 4D-Analysen wurden die Vorgänge mit Modellobjekten verknüpft. Es musste die Granularität der Terminplanung und der Modellstruktur aufeinander abgestimmt werden. Grob modellierte Vorgänge des bereitgestellten Terminplans wurden detaillierter aufgeschlüsselt, um sinnvolle Objektzuweisungen zu gewährleisten. Es wurden auch Modellobjekte zu Gruppen zusammengefasst und größeren Vorgängen zugewiesen.

Auch bei der Erstellung der 5D-Modelle mussten sinnvolle Zusammenfassungen und Verfeinerungen durchgeführt werden. Die Verknüpfung des Leistungsverzeichnisses mit den zugehörigen Modellobjekten wurde auf Objekt- und Strukturebene durchgeführt. Kosten, wie Baustellenallgemeinkosten, die nicht eindeutig mit einem Modellobjekt verknüpft sind, wurden übergeordneten Objekten bzw. Strukturen zugeordnet. Eine große Herausforderung war somit die Schaffung eines abgestimmten Detaillierungsgrads der LV-Positionen, Vorgänge der Terminplanung und Modellobjekte.

Alle 4D- und 5D-Modelle basieren auf dem vorgegebenen Rahmenterminplan. Eine Nachführung des Ist-Zustandes wurde während der Bewertungsphase nicht durchgeführt. Tragwerksplanungen, Fachplanungen oder Brandschutzsimulationen waren nicht Bestandteil der Anwendungsfälle und wurden nicht bewertet. Im Einzelnen ergab sich folgende Bewertung des Reifegrads für die Leistungsphase 4 und 5:

Wurde die Werkplanung in 3D durchgeführt? Wie detailliert?	nicht durchgeführt	nur einzelne Ausschnitte in 3D modelliert		Projekt weitgehend in 3D modelliert		Projekt vollständig in 3D, alle Fachmodelle, bis zum vereinbarten LOD	Punkte
	0	0	0	x	0	0	

Wurde die Koordination der verschiedenen Fachplanungen BIM-gestützt durchgeführt?	keine modellgestützte Koordination	einmalig zusammengeführte Modelle zur Clash Detection	sellen zusammengeführte Modelle weniger Beteiligter	Planungskoordination auf Basis regelmäßig zusammengeführter Modelle einiger Beteiligter	Planungskoordination auf Basis regelmäßig zusammengeführter Modelle aller Beteiligten	Planungskoordination basiert vollständig auf zusammengeführten BIM-Modellen und formalisierten Change Requests	Punkte
	x 0	0	0	0	0	0	0
Wurden die Pläne aus dem Modell abgeleitet oder gesondert gezeichnet?	Pläne nicht aus Modell abgeleitet		parallele Bearbeitung, Pläne sind verknüpft mit Modell	Pläne bilden die primäre Planungs- und Koordinationsgrundlage	Pläne werden bis zu einem bestimmten LOD aus dem Modell abgeleitet, danach gesondert weiterentwickelt	alle Pläne sind aus den Modellen abgeleitet und werden konsistent gehalten	Punkte
	x 0	0	0	0	0	0	0
Wurden die im BAP definierten LOD umgesetzt?	nicht definiert, nicht umgesetzt	sehr grob definiert und umgesetzt	für einige Elemente definiert und umgesetzt	nahezu vollständig definiert, weitgehend umgesetzt		für alle Objekttypen definiert, für alle Elemente zugewiesen	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	5
Wurde ein Klassifikationssystem verwendet?	keine Klassifikation			projektspezifische Klassifizierung	firmenspezifische Klassifizierung	Umfangreiche Klassifizierung auf Basis von Standards	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
Wurde eine bauteilspezifische Attribuierung durchgeführt? Wurde diese geprüft?	keine Attribuierung			projektspezifische Attribuierung nach BAP		Attribuierung anhand von firmenspezifischen Richtlinien	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
Prüfung hinsichtlich der vereinbarten LOD	Keine Prüfung					automatisierte Prüfung anhand von vordefinierter Modellanforderungen	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
Prüfung hinsichtlich fachlicher Vorgaben (z.B. Brandschutz, Barrierefreiheit, etc.)	Keine Prüfung	Selbstprüfung	visuelle Prüfung			automatisierte Prüfung anhand von vordefinierten Regeln	Punkte
	x 0	0	0	0	0	0	0
Wurde eine modellgestützte Kostenschätzung durchgeführt?	nicht durchgeführt			Kostenschätzung wurde modellgestützt durchgeführt	Kostenschätzung wurde für verschiedene Varianten durchgeführt	Kostenschätzung wurde in unterschiedlichen Leistungsphasen für verschiedene Varianten durchgeführt	Punkte
	0	0	0	x 3	0	0	3
Wurde das Modell mit dem Bauzeitenplan verknüpft?	nicht durchgeführt			Verknüpfung von Bauteilgruppen mit grobem Bauzeitenplan		detaillierte Verknüpfung einzelner Bauteile mit den geplanten Bauzeiten	Punkte
	0	0	0	0	0	x 5	5
Welche Fachplanungen (Schalplan, Bewehrungsplan, etc.) wurden umgesetzt?	nicht durchgeführt	wenige Detailplanungen in 3D				Alle Ausführungspläne wurden in 3D umgesetzt	Punkte
	x 0	0	0	0	0	0	0

Wurde eine BIM-gestützte Tragwerksplanung durchgeführt?	nicht durchgeführt	manuelles Erzeugen des Statikmodells aus dem 3D-BIM			Ableitung des statischen Modells aus dem 3D-BIM, Übergabe an Statiksoftware	mit dem BIM gekoppeltes statisches Modell, direkte Anbindung einer Statiksoftware, iterative Tragwerksplanung	Punkte
	x						0
	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>							<b>2.08</b>

Abbildung 7: Reifegrad der Leistungsphasen 4 und 5

### 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.

### 3.9 Ausführung

Die Ausführung wurde im Rahmen der betrachteten Laufzeit der wissenschaftlichen Begleitung nicht behandelt und kann daher auch nicht bewertet werden.

### 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

Das BIM-Team des Pilotprojektes Tunnel Rastatt besitzt umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung der BIM-Methodik. Die gemeinschaftlich formulierten Anwendungsfälle und BIM-Ziele entsprachen einem realistisch zu erreichendem Niveau und konnten auch erfolgreich abgeschlossen werden. Die eingesetzte Soft- und Hardware entsprach den gestellten Anforderungen (3D-Modellierung, Modellkoordination, 4D- und 5D-Modelle, Datenhaltung und Versionsverwaltung etc.) und es konnte prinzipiell gezeigt werden, dass die BIM-Methodik auch in komplexen Tunnelbauprojekten einsetzbar ist. Bei großen Modellen bzw. bei der Zusammenführung von Teilmodellen zu einem Gesamtmodell waren jedoch lange Ladezeiten und deutliche Verzögerungen bei der Visualisierung zu beobachten. Insbesondere die Zusammenarbeit mehrerer Personen in einem Teilmodell stellte das Projektteam vor große Herausforderungen und muss softwareseitig zukünftig besser unterstützt werden. Positiv hervorzuheben sind:

- passend beschriebene BIM-Ziele und daraus abgeleitete Anwendungsfälle,

- umfangreiche und detaillierte Modellierung insbesondere der Trogbauwerke,
- ausführliche Vorarbeiten zu Standardbauteilkatalogen und Klassifikationen,
- erfolgreiche Umsetzung von 4D- und 5D-Modellen.

Einschränkend ist anzumerken, dass die BIM-Planung parallel zur konventionellen Planung durchgeführt und dieser nachgezogen wurde. Diese parallele Planung ist jedoch im Wesentlichen der nachträglichen Beauftragung als BIM-Pilotprojekt geschuldet. So wurden die Bauwerksmodelle anhand der 2D-Pläne modelliert. Da die 2D-Pläne schon fachlich koordiniert waren, gab es kaum Kollisionen oder Notwendigkeiten, die Modelle anzupassen oder zu ändern. Es wurden teilweise Kollisionsprüfungen durchgeführt, z.B. für Grundwassermessstellen mit Einflussbereich Tunnelvortrieb, Querschlagsbereiche und Lichtraum Tunnel. Die BIM-Anwendungsfälle wurden somit nicht unter realen Bedingungen durchgeführt. Die parallele Planung war jedoch beabsichtigt und auch so beauftragt. In zukünftigen Pilotprojekten sollte BIM als führende Planungsmethode erprobt werden.

Die nicht vorgenommene Trennung zwischen Anforderungs- und Ausführungsbeschreibung begründet sich durch den gemeinschaftlichen Ansatz zum Erkenntnisgewinn aller Projektbeteiligten sowie den noch nicht ausreichend vorhandenen Erfahrungswerten zur Erstellung von AIA für Tunnelprojekte. Während des Projektes wurden Erfahrungen gesammelt, welche zu der Erkenntnis führten, Modellierungsarbeiten nicht mehr durchgehend auf Ausführungsniveau zu fordern, sondern eine zielorientierte Modellierung zu definieren.

Eine frühzeitige Abstimmung und Standardisierung von Leistungsverzeichnis, Terminplanung und Modellstruktur würde den Aufwand zur Erstellung von 4D- und 5D-Modellen deutlich reduzieren. Dies war wiederum nicht möglich, da sowohl die Terminplanung, als auch das Leistungsverzeichnis konventionell erstellt wurde. Insbesondere die Granularität der einzelnen Modellobjekte, z.B. eine abgestimmte Definition der kleinsten zu modellierenden Elemente oder die Beschreibung von Vorgängen im Terminplan in Abstimmung mit der Modellstruktur, sollten in Zukunft im Vorfeld definiert und möglichst standardisiert zur Verfügung gestellt werden. Die erstellten 5D-Modelle bilden detailliert den der Modellierung zugrunde gelegten Planungsstand ab. Eine Bewertung bezüglich Nutzung und Weiterverarbeitung der einzelnen Modelle während der Bauausführung und Betriebsphase war nicht Teil der wissenschaftlichen Begleitung. Der aggregierte BIM-Reifegrad zum BIM-Pilotvorhaben Tunnel Rastatt kann der Abbildung 8 entnommen werden.

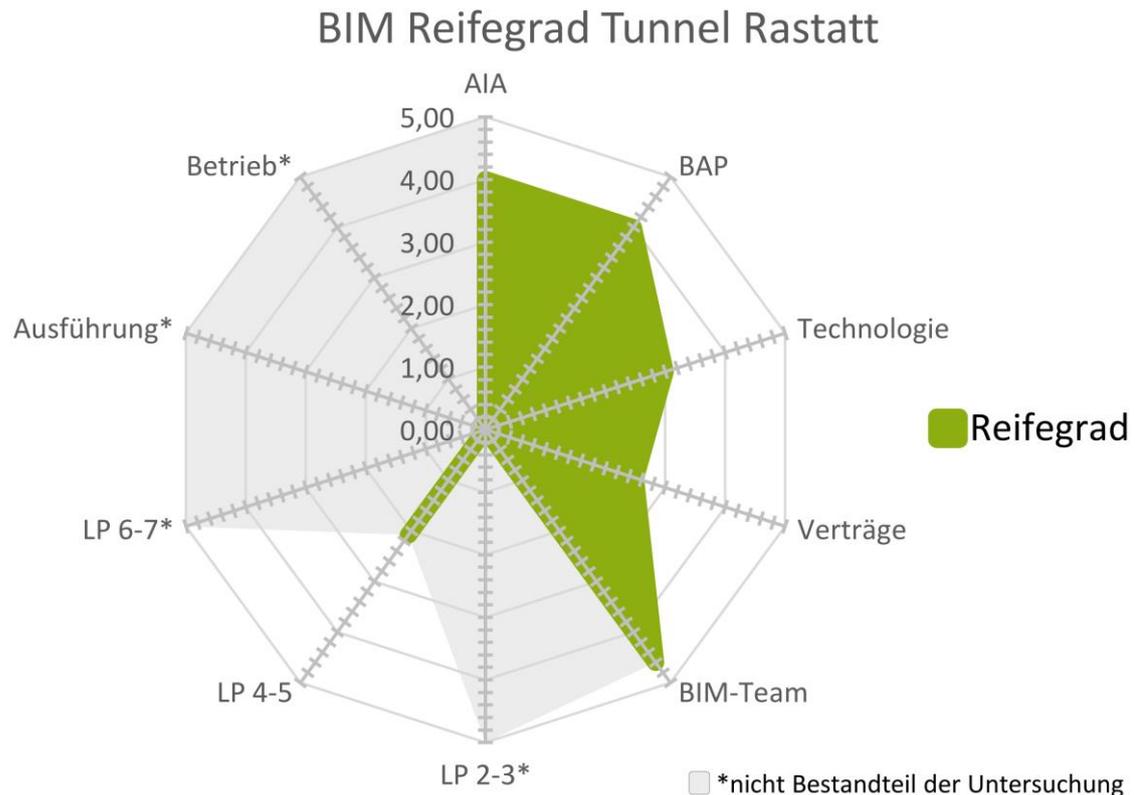


Abbildung 8: BIM-Reifegrad zum BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt

In diesem Pilotvorhaben standen die Erfahrungssammlung bei der Erstellung und Koordination von komplexen Tunnelbauwerken und die Verknüpfung mit Vorgängen und Leistungspositionen im Fokus. Es hat sich gezeigt, dass die BIM-Methodik auch im Tunnelbau schon anwendbar ist. Eine große Herausforderung war der Umfang der zu erstellenden Modelle und deren Integration in ein Gesamtmodell. Für eine realistische Bauablaufsimulation mussten die vorgegebenen Vorgänge aufgeteilt und einzelnen Bauelementen zugeordnet werden.

Insbesondere das gut zusammengestellte BIM-Team und der vorbildlich erarbeitete BAP waren wesentliche Faktoren für die erfolgreiche Abwicklung des BIM-Pilotprojektes. Entwicklungs- und Standardisierungspotenzial ergibt sich insbesondere bei BIM-spezifischen Vertragsunterlagen und ausschreibungsrelevanten AIA. Die BIM-Anwendungen waren bisher nur auf die Leistungsphasen 4 und 5 bezogen. Ein Datenaustausch zwischen verschiedenen Beteiligten und Phasen wurde nicht erprobt. Die Umsetzung von weiteren BIM-Anwendungsfällen sollte in Zukunft verstärkt verfolgt werden, um die Rahmenbedingungen für die Projektbeteiligten noch weiter zu spezifizieren.