



Technische Universität München

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Levels of Development (LODs) bei der Erstellung von Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIAs) für Straßenbauprojekte am Beispiel der „Grundhaften Erneuerung der A92“

Masterthesis

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor:	Luis Mair
Matrikelnummer:	██████████
1. Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. André Borrmann
2. Betreuer:	Simon Vilgertshofer, M.Sc.
Ausgabedatum:	19. Juni 2019
Abgabedatum:	19. Dezember 2019

Vorwort

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr.-Ing. André Borrmann und Herrn Simon Vilgertshofer vom Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation für die Betreuung meiner Arbeit. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein und seinen Mitarbeitern vom Lehrstuhl und Prüfamts für Verkehrswegebau für die Möglichkeit, die Masterarbeit am erstgenannten Lehrstuhl betreuen zu lassen.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meinen Kollegen der brenner BERNARD ingenieure GmbH für die Unterstützung bedanken und bei der Autobahndirektion Südbayern und der Build Informed GmbH für die gute Zusammenarbeit.

Zu guter Letzt geht mein herzlicher Dank an meine Familie und meine Freundin Jessi für die Unterstützung während meines gesamten Studiums und in der Zeit der Masterarbeit.

Abstract

This master thesis contributes to the progressive standardization of the Building Information Modeling (BIM) method for road construction projects. The Employer's Information Requirements (EIR) represent a central component for the handling of BIM processes and are part of the contract. The contents include quantifiable information and are oriented towards the operation of the road structure, from which the requirements for planning and construction are derived. A template EIR is based on the status quo and extends it for Germany by Plain Language Questions (PLQs). The Levels of Development (LODs) represent a central tool for the definition, standardization and communication of model contents and are therefore of great importance for EIRs. The existing LOD concept of the DEGES is taken up as a basis and refined for implementation in the BIM use cases of the respective project phases. For the practical example "Basic renewal of the A 92 motorway", an EIR is created for project phase 5 (HOAI) and various models are created and tested. The testing of the models shows a successful implementation of the geometric requirements and weaknesses in the semantic detailing. The development of the EIRs and LODs for road construction projects is at a usable level and will be more strongly standardized in the future by the publication of further sets of rules and regulations and IFC Road.

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit liefert einen Beitrag zur fortschreitenden Standardisierung der Methode des Building Information Modeling (BIM) für Straßenbauprojekte. Die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) stellen für die Abwicklung von BIM-Prozessen einen zentralen Bestandteil dar und sind Bestandteil des Vertrages. Die Inhalte umfassen quantifizierbare Informationen und sind auf den Betrieb des Straßenbauwerks ausgerichtet, woraus die Anforderungen für die Planung und Bau abgeleitet werden. Die erstellte Muster-AIA orientiert sich am Status Quo und erweitert diesen für Deutschland um Plain Language Questions (PLQs). Die Levels of Development (LODs) stellen für die Definition, Standardisierung und Kommunikation der Modellinhalte ein zentrales Mittel dar und sind deshalb für AIAs von großer Bedeutung. Das bestehende LOD-Konzept der DEGES wird als Grundlage aufgegriffen und zur Umsetzung für die Anwendungsfälle der jeweiligen Leistungsphasen verfeinert. Dabei werden für verschiedene Leistungsphasen LODs definiert. Für das Praxisbeispiel „Grundhafte Erneuerung der Autobahn A 92“ wird eine AIA für die Leistungsphase 5 (HOAI) erstellt sowie die Erstellung und Prüfung verschiedener Modelle vorgenommen. Dabei zeigt sich bei der Prüfung der Modelle eine erfolgreiche Umsetzung der geometrischen Anforderungen und Schwächen bei der semantischen Detaillierung. Die Entwicklung der AIAs und LODs für Straßenbauprojekte befindet sich auf einem verwendbaren Niveau und wird durch die Veröffentlichung weiterer Regelwerke und IFC-Road in Zukunft stärker standardisiert werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII	
Tabellenverzeichnis	X	
Abkürzungsverzeichnis	XI	
1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Ziele der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Straßenbauprojekte	4
2.1.1	Aufbau einer Straße.....	5
2.1.2	Straßenbauprojekte	9
2.2	Building Information Modeling (BIM)	14
2.2.1	Begriffe und Lebenszyklus eines Bauwerks.....	14
2.2.2	BIM-Dokumente	19
2.2.3	BIM-Anwendungsfälle	20
2.2.4	BIM-Modelle.....	23
2.2.5	Rollen der Projektbeteiligten	24
2.2.6	Datenaustausch und Zusammenarbeit	25
2.3	BIM in der Infrastruktur	28
2.3.1	Stufenplan des BMVI	28
2.3.2	Status Quo in Deutschland	30
2.3.3	Status Quo international	32
3	Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) für Straßenbauprojekte	35
3.1	Grundlagen	35
3.1.1	Begriffsbestimmung und vertragliche Einordnung	35
3.1.2	Hierarchie der Informationsanforderungen nach ISO 19650.....	36
3.1.3	Inhalt der AIA	37
3.1.4	Übersicht aus E DIN EN 17412:2019-07	39

3.2	Status Quo	40
3.2.1	Muster-AIAs	40
3.2.2	Analyse ausgewählter AIAs	44
3.2.3	Fazit	46
3.3	Erstellung einer Muster-AIA für Straßenbauprojekte.....	47
3.4	Antwort eines Unternehmens auf die AIA	47
3.5	Fazit	49
4	Levels of Development (LODs) für Straßenbauprojekte	51
4.1	Grundlagen	51
4.1.1	Level of Development (LOD)	51
4.1.2	Level of Geometry (LOG).....	54
4.1.3	Level of Information (LOI)	55
4.1.4	Dokumentation (DOC)	56
4.1.5	Level of Accuracy (LOA)	56
4.2	Status Quo der LODs im Straßenbau	58
4.2.1	MT Højgaard.....	58
4.2.2	DEGES	59
4.2.3	ARGE BIM4INFRA.....	63
4.2.4	Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (HDB) - Straßenbau	65
4.2.5	Fazit	66
4.3	LOD-Konzept im Projektverlauf.....	69
4.3.1	Methodik des LOD-Konzepts	69
4.3.2	Vorplanung (Leistungsphase 2)	71
4.3.3	Entwurfsplanung (Leistungsphase 3).....	76
4.3.4	Ausführungsplanung (Leistungsphase 5).....	79
4.3.5	Wie-Gebaut-Modell und dessen Weiternutzung im Betrieb	82
4.4	Fazit	83
5	Praxisbeispiel "Grundhafte Erneuerung A 92"	85
5.1	Grundlagen	85
5.1.1	Projektbeschreibung	85
5.1.2	Aufgabenstellung	86
5.2	Erstellung einer AIA für die Leistungsphase 5 (HOAI)	86
5.2.1	Arbeitsweise	86

5.2.2	Ergebnisse	87
5.2.3	Zusammenfassung und Bewertung	87
5.3	Erstellung von Modellen eines Trassenabschnittes für unterschiedliche Leistungsphasen.....	88
5.3.1	Grundlagen der Modellierung	88
5.3.2	Eingesetzte Software	91
5.3.3	Erstellung der Modelle	92
5.3.4	Zusammenfassung und Bewertung	94
5.4	Überprüfung der erstellten Modelle.....	97
5.4.1	Grundlagen der Modellprüfung	97
5.4.2	Eingesetzte Software	97
5.4.3	Überprüfung der Modelle	98
5.4.4	Zusammenfassung und Bewertung	99
5.5	Fazit	101
6	Zusammenfassung und Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	XIV
	Verzeichnis der Anhänge	XXIV
	Erklärung	XXV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anwendungsformen des Übergangsbogens als Verbindungselement (Quelle: RAA, S. 28).....	6
Abbildung 2: Regelquerschnitt RQ 9 für Straßen der Entwurfsklasse EKL 4 (Quelle: eigene Darstellung, erstellt mit ProVI)	7
Abbildung 3: Bauweise mit Asphalt und Betondecke und jeweilige Schichtdicken in [cm] (Quelle: RStO 12 Tafeln 1 und 2, bearbeitet)	8
Abbildung 4: Übersicht Planungsprozess: Planungsstufen mit Ergebnissen und Verfahrensschritten (Quelle: RE 2012, Teil I S. 8).....	10
Abbildung 5: Lebenszyklus eines Assets in der abstrahierten Sichtweise der DIN EN ISO 19650-1 (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 22).....	17
Abbildung 6: Lebenszyklus und BIM-Prozesse; urspr. Titel: „Schematische Darstellung des BIM-Referenz-Prozesses“ (Quelle: planen-bauen 4.0 GmbH, abgebildet in: ARGE BIM4INFRA2020 2019b, S. 8)	18
Abbildung 7: Organigramm der BIM-Projektentwicklung (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Hausknecht und Liebich 2016, S. 174)	25
Abbildung 8: Stufenplan: zeitliche Entwicklung hin zum BIM-Leistungsniveau 1 ab 2020 (Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 5).....	29
Abbildung 9: Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Anwendungsfälle (Quelle: ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2018, S. 15)	31
Abbildung 10: BIM Reifegradmodell (Quelle: Bartley 2017, S. 6 (ursprünglich: Bew, M. and Richards, M., (2008) BIM Maturity Ramp))	33
Abbildung 11: Hierarchie der Informationsanforderungen und Informationsmodelle (Quelle: DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18).....	36
Abbildung 12: Überblick über AIA und Informationsflüsse (Quelle: reduziert und bearbeitet aus E DIN EN 17412:2019-07, S. 22)	39
Abbildung 13: Varianten der AIA/BAP-Konstellation (blau vom AG erstellt, rot vom AN erstellt) (Quelle: ARGE INFRABIM 2018, S. 21, ursprünglich von BIM4INFRA2020)	48
Abbildung 14: Extrusion, Rotation, Sweep und Lofting (Quelle: aus Borrmann et al. 2015, S. 33).....	90
Abbildung 15: Modell der LPH 2 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)	94
Abbildung 16: Modell der LPH 3 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)	95
Abbildung 17: Modell der LPH 5 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)	95
Abbildung 18: Modell der LPH 2 mit teilweise ausgeblendeter Dammfläche (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)	96

Abbildung 19: Erstellung von Eigenschaftensets im SMC (Quelle: Solibri Model Checker).....	98
Abbildung 20: Konfiguration einer Prüfregel im SMC (Quelle: Solibri Model Checker)	99
Abbildung 21: Lücken im Bankett (Quelle: Eigene Darstellung in Solibri Model Checker).....	100
Abbildung 22: Modellstruktur im SMC für die erstellten Modelle (Quelle: erstellt in Solibri Model Checker)	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Anwendungsfälle für BIM-Projekte (Quelle: geringfügig bearbeitet aus ARGE BIM4INFRA2020 2019f, S. 8)	22
Tabelle 2: Modellarten für BIM-Projekte (Quelle: eigene Darstellung nach VDI 2552 Blatt 4 Entwurf, S. 8–10)	23
Tabelle 3: Übersicht der Muster-AIAs (Quelle: eigene Darstellung)	40
Tabelle 4: Inhalte der Muster-AIAs (Quelle: eigene Darstellung)	41
Tabelle 5: In Muster-AIAs geforderte Formate für den Datenaustausch (Quelle: eigene Darstellung)	43
Tabelle 6: Analyse der AIAs für Infrastrukturprojekte (Quelle: eigene Darstellung) ..	44
Tabelle 7: Datenaustauschformate der AIAs (Quelle: eigene Darstellung)	45
Tabelle 8: Grundlegende LOD-Definitionen (Quelle: erstellt nach BIMForum Stand: 2019, S. 13)	53
Tabelle 9: 95%-Sicherheit-Werte der LOAs (Quelle: bearbeitet aus U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) 2019, S. 11)	57
Tabelle 10: LODs für Straßen (Quelle: bearbeitet, aus MT Højgaard 2017, S. 15) ..	58
Tabelle 11: Zeichnungsmaßstäbe und LOD in den Leistungsphasen der HOAI (Quelle: bearbeitet, aus DEGES 2019h, S. 7)	59
Tabelle 12: LOGs für Verkehrsanlagen in den Leistungsphasen mit Beschreibung (Quelle: bearbeitet, aus DEGES 2019f, S. 6)	60
Tabelle 13: Darstellung der Modellelemente für Verkehrsanlagen in den LOGs (Quelle: eigene Darstellung nach DEGES 2019f, S. 8–33)	61
Tabelle 14: Beschreibung der Gesamtmodelle in den LOGs (Quelle: eigene Darstellung nach DEGES 2019f, S. 8–33)	61
Tabelle 15: Beschreibung der LODs der ARGE BIM4INFRA (Quelle: ARGE BIM4INFRA2020 2019g, S. 15–16)	63
Tabelle 16: LOD-Konzept des HDB für den Straßenbau (Quelle: bearbeitet, aus HDB e.V. 2019, S. 13)	65
Tabelle 17: Untersuchung der LOD-Konzepte (Quelle: eigene Darstellung)	66
Tabelle 18: Modellelemententwicklungsmatrix des Anwendungsfalls AWF X in Abhängigkeit der Leistungsphasen der HOAI (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Tabelle 13)	71
Tabelle 19: Vor- und Nachteile der Verfahren (Quelle: erstellt aus Borrmann et al. 2015, S. 33)	91

Abkürzungsverzeichnis

ABD	Autobahndirektion Südbayern
AG	Auftraggeber
AHO	Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.
AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen
AIA	American Institute of Architects
AIM	Asset-Informationsmodell
AIR	Asset-Informationsanforderungen (en: Asset Information Requirements)
AN	Auftragnehmer
AWF, AwF	Anwendungsfall
bBi	brenner BERNARD ingenieure GmbH
B-Rep	Boundary Representation
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BASt	Bundesamt für Straßenwesen
BAYSIS	Bayerisches Straßeninformationssystem
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
BIM-BVB	Besondere Vertragsbedingungen BIM
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CIC	Computer Integrated Construction Research Group
CIC	Construction Industry Council Hong Kong
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
CSG	Constructive Solid Geometry
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH

DGM	Digitales Geländemodell
DOC	Dokumentation
DVW	Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V.
EIR	Austausch-Informationsanforderung (en: Exchange Information Requirements)
FGB	Fertigstellungsgrad Bau
FGG	Fertigstellungsgrad Geometrie
FGK	Fertigstellungsgrad Kostenplan
FGT	Fertigstellungsgrad Terminplan
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FM	Facility Management, Betrieb
GIS	Geographisches Informationssystem
HDB	Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
LOA	Level of Accuracy
LOD	Level of Development
LoD	Level of Detail (nur für DB Station&Service AG und DB Netz AG)
LOI	Level of Information
LoI	Level of Information (nur für DB Station&Service AG und DB Netz AG)
LOIN	Level of Information Need
LOG	Level of Geometry
LPH	Leistungsphase der HOAI
MDG	Modelldetaillierungsgrad
MIDP	Master Information Delivery Plan, Master-Informationsbereitstellungsplan
MPS	Model Progression Specification

MVD	Model View Definition
NBS	National Building Specification der RIBAE
OIR	Organisatorische Informationsanforderungen (en: Organizational Information Requirements)
OKSTRA	Objektkatalog für das Straßen - und Verkehrswesen
PIM	Projekt-Informationsmodell
PIR	Projekt-Informationsanforderungen (en: Project Information Requirements)
PLQs	Plain Language Questions
PMS	Pavement Management System
ProVI	Programmsystem für die Verkehrs- und Infrastrukturplanung
RIBA	Royal Institute of British Architects
RIBAE	RIBA Enterprises Limited
SMC	Solibri Model Checker
TIDP	Task Information Delivery Plan, aufgabenbezogener Informationsbereitstellungsplan
UDLOA	User Defined LOA
USIBD	U.S. Institute of Building Documentation
VBI	Verband Beratender Ingenieure
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.

1 Einleitung

1.1 Einführung

"Die BAUINDUSTRIE sieht die Autobahn GmbH des Bundes als Chance, das Management von Deutschlands Autobahnen in »einer Hand« zu bündeln." (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2019, S. 2)

Im Rahmen der Neuordnung zum 1. Januar 2021 übernimmt der Bund die Gesamtverantwortung für die Bundesautobahnen durch die Schaffung der *Autobahn GmbH des Bundes*. (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2019) Die dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterstellte Gesellschaft wurde am 13. September 2018 in Berlin gegründet und soll ab 2021 die Finanzierung und Verwaltung des Autobahnnetzes übernehmen (Bundesverwaltungsamt). Wie aus dem Positionspapier des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e.V. (HDB) hervorgeht, ist dieser Schritt mit gewissen Sorgen über eine mögliche Verschiebung der Investitionsprioritäten weg von den Bundesautobahnen und hin zu den Bundesstraßen verknüpft. Dem gegenüber steht, wie im obigen Zitat prägnant formuliert, die Chance auf Veränderungen im Sinne von Verbesserungen derzeitiger Gegebenheiten und Prozesse. (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2019)

Der HDB sieht die Autobahn GmbH als eine treibende Kraft für fortschreitende Standardisierung und Innovation und beabsichtigt diese auch in den geläufigen Vertragsmodellen abzubilden. Merkmale der GmbH stellen „Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb aus einer Hand nach dem Lebenszyklusansatz“ (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2019, S. 3) dar und in jeder Hinsicht verbesserte Verwaltungsprozesse. Hier ergibt sich die ideale Gelegenheit, die im *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* des BMVI geforderte Einführung von Building Information Modeling (BIM) als ganzheitliche digitale Planungsmethode, mit der strukturellen Veränderung der Verwaltung des Autobahnnetzes zu kombinieren. Dies könnte einen großen Schritt hin zu zentralen Datenbanken und digitalisierter Planung, Bau und Betrieb bedeuten. Zur Realisierung dieser Vorhaben bedarf es der Schaffung umfangreicher Standards und Vorschriften speziell für die Planung zukünftiger Straßenbauprojekte.

1.2 Ziele der Arbeit

Der *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur hat den Fahrplan zur Einführung der BIM-Methode für Infrastrukturprojekte klar vorgegeben. Ab 2020 sollen Infrastrukturprojekte unter Verwendung von Building Information Modeling geplant und gebaut werden. Um für die einheitliche Einführung und Umsetzung von BIM-Projekten zu sorgen, bedarf es umfangreicher Vorschriften, Regelwerke und Richtlinien.

Die vorliegende Masterarbeit soll einen Beitrag zur Standardisierung der BIM-Prozesse für Straßenbauprojekte liefern.

Dieses Werk hat zum Ziel, die Struktur und Inhalte von *Auftraggeber-Informationsanforderungen* für Projekte im Straßenbau, als zukünftig wichtige Vertragsunterlage, weiterzuentwickeln. Dazu wird einerseits im Allgemeinen eine *Muster-Auftraggeber-Informationsanforderung* und im Speziellen eine *Auftraggeber-Informationsanforderung* für ein konkretes Projekt (Grundhafte Erneuerung der Autobahn A 92) erstellt. Als weiteres Ziel werden dabei insbesondere die *Levels of Development* als Detaillierungsgrade für Modelle beziehungsweise deren Elemente für Straßenbauprojekte analysiert und weiterentwickelt und sollen somit zur fortschreitenden Standardisierung beitragen. Die eigenständige Erstellung und Prüfung mehrerer BIM-Modelle liefern einen Beitrag zur Umsetzung der Bemühungen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich im Folgenden in fünf Kapitel.

In Kapitel 2 werden theoretische Grundlagen erörtert. Die Charakteristik von Straßenbauprojekten wird aufgezeigt und die Methode des Building Information Modeling allgemein sowie für Infrastrukturprojekte vorgestellt.

Das Kapitel 3 befasst sich ausführlich mit den Auftraggeber-Informationsanforderungen für Straßenbauprojekte. Dabei werden dem Leser zuerst wichtige Grundlagen vermittelt und der Stand der Forschung beziehungsweise der Stand der Technik als Status Quo betrachtet sowie eine Analyse für ausgewählte AIAs aus der Praxis durchgeführt. Im Anschluss soll, aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen, eine Muster-AIA für Straßenbauprojekte formuliert werden. Abschließend werden die Antwortmöglichkeiten eines Unternehmens auf eine AIA betrachtet.

Im Kapitel 4 werden zunächst die Grundlagen der Levels of Development betrachtet, anschließend werden bereits existierende LOD-Konzepte für Straßenbauprojekte eingehend untersucht. Darauf aufbauend erfolgt am Ende des Kapitels der Vorschlag eines LOD-Konzepts für Straßenbauprojekte in verschiedenen Leistungsphasen und für Wie-Gebaut-Modelle.

In Kapitel 5 wird das Projekt „Grundhafte Erneuerung A 92“ als Praxisbeispiel zuerst kurz vorgestellt und die zugehörige Aufgabenstellung im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit beschrieben. Anschließend erfolgt die Bearbeitung der Aufgaben in den Abschnitten Erstellung einer AIA, Erstellung von Modellen für unterschiedliche Leistungsphasen und Überprüfung der Modelle.

Den Abschluss bildet Kapitel 6, in welchem die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst werden und ein Ausblick über zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten gegeben wird.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Teil der Arbeit werden allgemein die theoretischen Grundlagen betrachtet, die das Fundament für die kommenden Kapitel legen sollen.

Dabei wird überblicksweise zuerst der allgemeine Aufbau eines Bauwerks der Straßeninfrastruktur illustriert und die Struktur eines typischen Straßenbauprojektes unter Berücksichtigung der *Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE 2012)* und der *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2013)* erläutert.

Anschließend erfolgt eine kurze Einführung in die Methode Building Information Modeling (BIM). Hierbei werden wichtige Begriffe im Kontext der Prozesse eines gesamten Lebenszyklus eines (Infrastruktur-)Bauwerks definiert. Weiters werden notwendige zentrale Dokumente für die Abwicklung von BIM-Projekten beschrieben sowie verschiedene Akteure, deren Schnittstellen und die zugehörige Thematik des Datenaustausches behandelt.

Abschließend wird Building Information Modeling in der Infrastruktur im Rahmen des *Stufenplan Digitales Planen und Bauen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)* beschrieben und der Status Quo national und international untersucht. Dabei wird auch auf Möglichkeiten des Datenaustausches im Bereich des BIM für Infrastrukturprojekte eingegangen.

2.1 Straßenbauprojekte

Der Verkehrswegebau bildet eine Teildisziplin des Bauingenieurwesens. Der Straßen- und Wegebau stellt in dieser Teildisziplin wiederum einen Arbeitsbereich dar. Die Aufgaben des Verkehrswegebbaus umfassen „Planung und [...] Entwurf, die Konstruktion, die Instandsetzung und Erhaltung sowie die Sanierung oder den Abbruch der baulichen Anlagen des Verkehrswesens“ (Wikipedia 2016).

Um dem Leser einen adäquaten Überblick über den Umfang und die Charakteristik von Straßenbauprojekten zu ermöglichen, wird im Folgenden für Straßenbauprojekte der allgemeine Aufbau des Projektgegenstandes Straße und der klassische Verlauf eines Projektes im Straßenbau beschrieben.

Der Umfang dieser Arbeit beschränkt sich angelehnt an das Bundesfernstraßengesetz auf die „Bundesstraßen des Fernverkehrs (Bundesfernstraßen)“ (§1 Abs. 1 FStrG). Darunter fallen vornehmlich alle öffentlichen „Straßen, die ein zusammenhängendes Verkehrsnetz bilden und einem weiträumigen Verkehr dienen oder zu dienen bestimmt sind“ (§1 Abs. 1 FStrG). Diese werden unterteilt in Bundesautobahnen und Bundesstraßen, wobei Ortsdurchfahrten als Teil einer Bundesstraße in obiger Definition ebenfalls enthalten sind. (§1 Abs. 2 FStrG)

2.1.1 Aufbau einer Straße

Übergeordnetes Ziel der betrachteten Straßentypen ist es, dem Verkehrsablauf eine hohe Verkehrssicherheit und eine hohe Qualität zu ermöglichen. (RAA)

Der allgemeine Aufbau der zuvor genannten Bundesfernstraßen ist in den *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)* beziehungsweise in den *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)* geregelt. Der Anwendungsbereich dieser beiden zentralen Regelwerke für die Planung von Autobahnen und Landstraßen umfasst die Planungsgrundsätze, Entwurfsэлеmente und Ausstattungsmerkmale sowohl für den Neubau, als auch für Umbau und Ausbau (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr). Dabei werden keine endgültigen Aussagen getroffen, sondern Ermessensspielräume und Grenzwerte vorgegeben, innerhalb derer die Planung vorzunehmen ist.

Die beiden Richtlinien stellen zahlreiche Ansprüche an die Planung der Verkehrsanlagen, die zusätzlich zu den bereits genannten Zielen erfüllt werden sollen. Hierzu zählen beispielsweise das Erreichen der angestrebten Reisegeschwindigkeit für die jeweiligen Verkehrsteilnehmer, die Gewährleistung der erfolgreichen Abwicklung des prognostizierten (zunehmenden) Verkehrsaufkommens oder umweltrelevante Aspekte wie ausreichende Abstände zu sensiblen Flächen und weitestgehende Vermeidung von Beeinträchtigung durch Lärm- und Schadstoffemissionen. (RAA)

Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, bedarf es eines Straßenaufbaus, der unter anderem über den gesamten Lebenszyklus hinweg die Verkehrsbelastung sicher aufnehmen und in den Untergrund abtragen kann, unterschiedliche Klima- und Wetterbedingungen schadlos übersteht und zugleich die Verkehrssicherheit durch leistungsfähige Entwässerungssysteme oder bestimmte Oberflächenparameter der Straßendecke garantiert, unter gleichzeitiger Einhaltung ökologischer

und ökonomischer Maßstäbe. Dafür werden in den RAA und RAL Vorgaben zur Linieneinführung, Querschnittsgestaltung und Ausstattung getroffen.

Linienführung

Die Linienführung orientiert sich vorrangig an den Aspekten Sicherheit und Fahrdynamik. Für Autobahnen der höchsten Entwurfsklasse EKA 1 A wird beispielsweise bei nasser Fahrbahn eine sichere Fahrt bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h als Grenz- bzw. Mindestwert festgelegt und damit einhergehend die Verwendung bestimmter Trassierungselemente impliziert. (RAA)

Mögliche Elemente für den Entwurf einer Straßenachse sind Geraden, Kreisbögen und Übergangsbögen, auch als Klothoiden bezeichnet. Die Funktion der Übergangsbögen ist das fahrdynamisch günstige Verbinden der Elementfolgen Gerade-Bogen beziehungsweise Bogen-Bogen durch eine lineare Krümmungsänderung, die ein angenehmes und sicheres Lenkverhalten auch bei großen Geschwindigkeiten ermöglicht. Dargestellt sind die Verbindungsarten in Abbildung 1. Über die genannten Elemente des Achsentwurfs wird die Lage beziehungsweise der Verlauf der Straßenachse in der Ebene bestimmt.

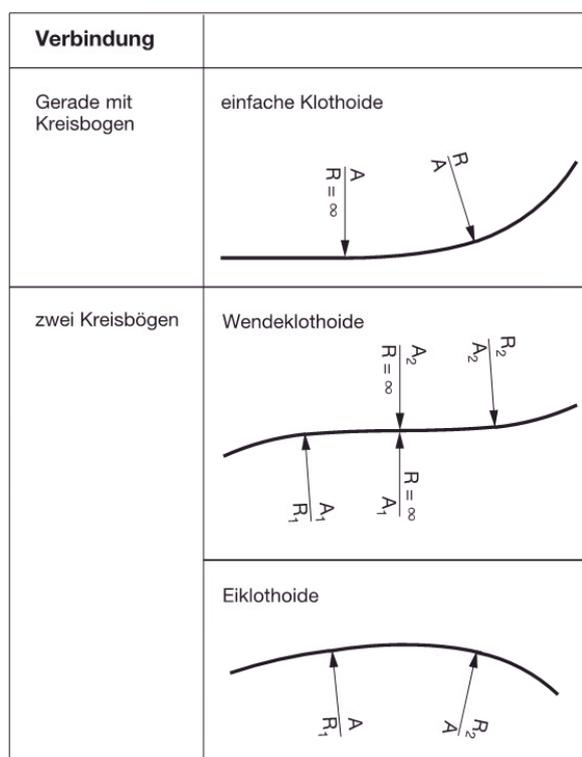


Abbildung 1: Anwendungsformen des Übergangsbogens als Verbindungselement (Quelle: RAA, S. 28)

In Kombination mit der Höheninformation aus einer Gradienten wird die Achse in ihrer dreidimensionalen Lage vollständig beschrieben. Die Gradienten beschreibt die Längsneigung der Straßenachse - also in beziehungsweise gegen die Fahrtrichtung - und wird im Bereich von Neigungsänderungen oder -wechseln mittels Wannen oder Kuppen ausgerundet. Insbesondere Wannen müssen in entwässerungstechnischer Hinsicht mit besonderer Sorgfalt betrachtet werden, da sich dort durch das Ansammeln großer Wassermengen bei Niederschlag ansonsten Probleme für Bausubstanz und Sicherheit ergeben. Durch das komplexe Zusammenwirken des ebenen Verlaufs der Achse und der Gradienten ergeben sich spezielle Herausforderungen an den Planer,

da sich trotz formell korrekter Achstrassierung beispielsweise optische Knicke ergeben können und damit ein gemindertes Sicherheitsgefühl beim Fahrer eines Kraftfahrzeuges einhergehen kann. (RAL)

Querschnittsgestaltung

Horizontale Bestandteile (rechtwinklig zur Achse in der Ebene) eines typischen Straßenquerschnitts sind:

- Befestigte Fläche, bestehend aus
 - Fahrbahn, bestehend aus Fahrstreifen und Randstreifen
 - Seitenstreifen, bspw. für Abstellen von Pannenfahrzeugen
- Borde und Entwässerungsrinnen
- Bankette, bspw. Arbeitsraum für Betriebsdienst oder dem Aufstellen von Verkehrszeichen

Seitlich des Trassenverlaufs erfolgt der Anschluss der äußersten Querschnittselemente an das Gelände. Hierfür kommen je nach vorzufindendem Gelände ein Damm oder ein Einschnitt infrage. Liegt der Straßenquerschnitt unterhalb des Geländes wird regelmäßig ein Einschnitt mit Entwässerungsmulde und Einschnittsböschung vorgesehen, oberhalb erfolgt die Herstellung eines Damms, ggf. mit Entwässerungsmulde am Fuß des Damms. Untenstehende Abbildung 2 stellt die Elemente eines Straßenquerschnitts dar.

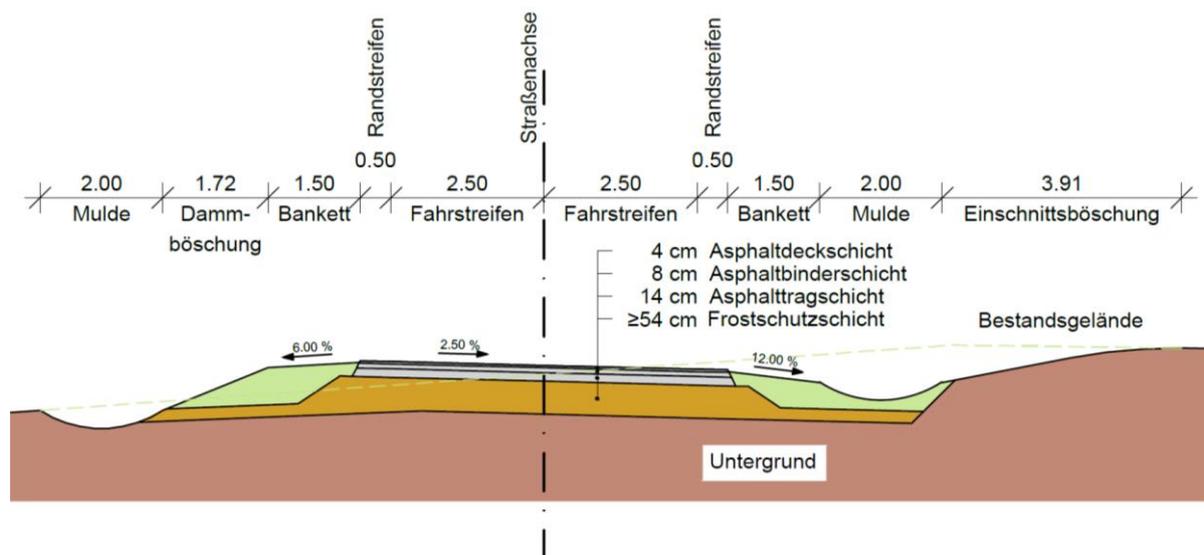


Abbildung 2: Regelquerschnitt RQ 9 für Straßen der Entwurfsklasse EKL 4 (Quelle: eigene Darstellung, erstellt mit ProVI)

Der vorliegende Querschnitt wird als Regelquerschnitt RQ 9 bezeichnet, da die Kronenbreite, also die kumulierten Breiten von Bankettaußenrand links der Achse bis

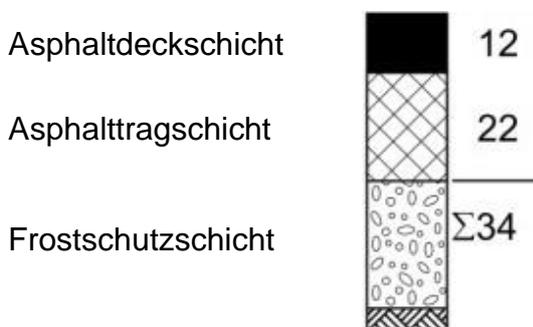
Bankettaußenrand rechts der Achse, 9 Meter beträgt. Diese Systematik kann auch für große Autobahnquerschnitte angewandt werden, wie beispielsweise dem RQ 43,5, der in beide Fahrrichtungen jeweils vier Richtungsfahrbahnen aufweist.

Vertikal wird der Straßenquerschnitt, wie in Abbildung 2 gezeigt, durch verschiedene Schichten aufgebaut. Reglementiert wird der Neubau und die Erneuerung des Oberbaus von Straßen durch die *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12)*. Darin wird der Aufbau von Verkehrsflächen unterteilt in den Oberbau, einen ggf. vorhandenen Unterbau und den Untergrund.

Der Untergrund stellt die unterste Schicht dar. Darüber kann ein Unterbau als künstliche Dammschüttung liegen. Das Planum wird, unter anderem mit festgelegten Neigungen und definierten Anforderungen an den Verformungsmodul, auf den Oberflächen von Unterbau oder Untergrund, als direkte Auflage für den Oberbau hergestellt und zählt dabei noch zum Bereich des Erdbaus. (RStO 12)

Der Oberbau kann je nach Anforderung und Typ der Verkehrsfläche unterschiedlich aufgebaut sein. Die Mindestdicke des Oberbaus folgt aus den Vorgaben zur Frostsisicherheit. Dabei ergibt sich in Abhängigkeit von den Bemessungskriterien als unterste Schicht des Oberbaus eine (ungebundene) Tragschicht, die aus einer Frostschuttschicht beziehungsweise einer Schicht aus frostunempfindlichem Material besteht. In Abbildung 3 wird je eine Bauweise mit Asphaltdecke und mit Betondecke am Beispiel einer Fahrbahn der höchsten Belastungsklasse Bk100 (> 32 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge) dargestellt.

Bauweise mit Asphaltdecke



Bauweise mit Betondecke

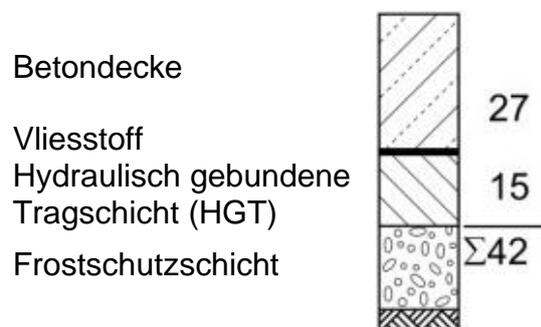


Abbildung 3: Bauweise mit Asphalt und Betondecke und jeweilige Schichtdicken in [cm] (Quelle: RStO 12 Tafeln 1 und 2, bearbeitet)

Die Fahrbahn soll im Querschnitt eine Mindestquerneigung von 2,5 % erreichen und dabei eine Höchstquerneigung von 6,0 % für Autobahnen und 7,0 % für Landstraßen nicht überschreiten. Dies gewährleistet eine ausreichende Entwässerung und

besonders in Kurven durch die resultierende fahrdynamische Optimierung einen Zuwachs an Sicherheit. (RAA; RAL)

Ausstattung

Die Ausstattung von Straßen und deren Seitenräumen ist für den Ablauf und die Sicherheit des Verkehrs von hoher Bedeutung. Ausstattungselemente sind beispielsweise Fahrbahnmarkierungen, Leiteinrichtungen (Leitpfosten mit 50 m Regelabstand), Fahrzeug-Rückhaltesysteme zur Verminderung von Risiken bei Unfällen, Verkehrszeichen und sonstige Beschilderungen oder Immissionsschutzeinrichtungen für Lärmschutz und Luftreinhaltung. Die planerische und bauliche Umsetzung wird für die einzelnen Bestandteile in zahlreichen (technischen) Vorschriften geregelt. (RAA; RAL)

2.1.2 Straßenbauprojekte

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Straße bzw. der Straßenaufbau als Planungsgegenstand eines Straßenbauprojektes eingeführt wurde, soll nachstehend auf den Ablauf und die Charakteristik von Straßenbauprojekten eingegangen werden. Der Umfang dieser Arbeit beschränkt sich auf den Projektverlauf im Rahmen der Leistungsphasen der *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)*.

Im Sinne der HOAI werden Straßen dem *Teil 3 Objektplanung, Abschnitt 4 Verkehrsanlagen* zugeordnet (§ 45 HOAI). Daraus ergeben sich im Zusammenhang mit Straßenbauprojekten nachfolgende Leistungsphasen LPH 1 - 9, eine detaillierte Zusammenstellung für das Leistungsbild Verkehrsanlagen findet sich in *Anhang A - Leistungsbild Verkehrsanlagen HOAI*.

HOAI-Leistungsphasen für Verkehrsanlagen (§ 47 HOAI)

- LPH 1 - Grundlagenermittlung
- LPH 2 - Vorplanung
- LPH 3 - Entwurfsplanung
- LPH 4 - Genehmigungsplanung
- LPH 5 - Ausführungsplanung
- LPH 6 - Vorbereiten der Vergabe
- LPH 7 - Mitwirken bei der Vergabe
- LPH 8 - Bauoberleitung
- LPH 9 - Objektbetreuung

RE 2012

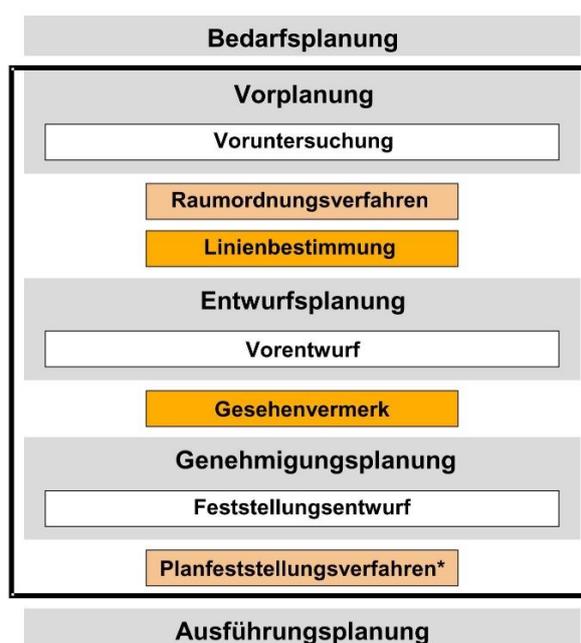
Die *Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE 2012)* in der Fassung von 2012, werden im Katalog des *Verlags der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)* als Technisches Regelwerk für den Straßenentwurf geführt.

Die *RE 2012* fordert explizit eine einheitliche Anwendung für jegliche Arten von Straßenplanungen. Es wird der konventionelle Planungsprozess des Neu-, Um- und Ausbaus von Bundesfernstraßen beschrieben, Begriffe der zugehörigen Planungsstufen definiert und "Anforderungen an Inhalt, Form und Umfang der in den Planungsstufen und für die bei Bundesfernstraßen öffentlichen und verwaltungsinternen Verfahren grundsätzlich zu erstellenden Entwurfsunterlagen" (*RE 2012*, S. 5) festgelegt.

Ziele der Anwendung der *RE 2012* sind die Qualitätssicherung der Planung und die Beschleunigung der Planungsprozesse. Dazu wird unter anderem den bei der Planung entstehenden Unterlagen eine klare Struktur auferlegt, Anforderungen an Inhalte von Plänen und sonstigen Unterlagen definiert sowie klare Vorgaben zum Layout von Planunterlagen gemacht, beispielsweise in Größe und Art des Plankopfes oder Festlegungen zu Strichstärken und Schraffurfarben. Weiteres Ziel ist eine Verbesserung der Öffentlichkeitsarbeit durch die einheitliche Gestaltung der Planungsunterlagen.

Der Anwendungsbereich der *RE 2012* umfasst die Planungsstufen Vorplanung (LPH 2 HOAI), Entwurfsplanung (LPH 3 HOAI) und Genehmigungsplanung (LPH 4 HOAI), in Abbildung 4 durch den schwarzen Rahmen gekennzeichnet. Die zugrunde liegende Planungsstufe Bedarfsplanung stellt einen Bedarf im Sinne des Fernstraßenausbaugesetzes (FStrAbG) fest und stößt damit die Planung an. (*RE 2012*)

In der Vorplanung werden verschiedene Varianten unter Berücksichtigung von „verkehrlichen, wirtschaftlichen und raumstrukturellen“ (*RE 2012*, Teil I S.9)



* oder andere Verfahren zur Baurechtserlangung

Abbildung 4: Übersicht Planungsprozess: Planungsstufen mit Ergebnissen und Verfahrensschritten (Quelle: *RE 2012*, Teil I S. 8)

Aspekten entwickelt und beurteilt. Die Unterlagen *Voruntersuchung* schließen diese Planungsstufe ab und liefern im Allgemeinen eine Vorzugsvariante.

In der Entwurfsplanung kommt es zur Weiterentwicklung der bevorzugten Variante, in der insbesondere die Trassierung in Lage und Höhe verfeinert wird und Nachweise bzw. Verträglichkeitsprüfungen für verkehrliche und umwelttechnische Belange geführt werden. Die Unterlagen *Vorentwurf* sind das Ergebnis der Planungsstufe, davon ausgehend erfolgt die innerbehördliche Prüfung in haushaltsrechtlicher und fachtechnischer Hinsicht.

In der Genehmigungsplanung wird die Planung teilweise weiter detailliert und um für das Planfeststellungsverfahren notwendige Dokumente erweitert. Die Unterlagen *Feststellungsentwurf* bilden die Grundlage einer umfangreichen Abwägung der Interessen unterschiedlichster Stakeholder im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens. Dabei soll der Planfeststellungsbeschluss für das Projekt und somit die Schaffung des Baurechts erreicht werden.

Nachfolgende Leistungsphase LPH 5 - Ausführungsplanung ist nicht in den RE 2012 reglementiert, die Bestimmungen der RE können jedoch als Grundlage weiter verwendet werden. In der Ausführungsplanung werden aus dem Planfeststellungsbeschluss hervorgegangene Vorgaben berücksichtigt und der Ausführungsentwurf beziehungsweise Bauentwurf erstellt (RE 2012). Die daraus resultierenden Unterlagen müssen alle für die Ausschreibung und die Bauausführung relevanten Informationen enthalten (RAA).

DIN 276:2018-12

Die DIN 276 regelt die Kostenplanung, im speziellen die Ermittlung und Gliederung der Kosten im Bauwesen, für Hochbauten, Ingenieurbauten, Infrastrukturanlagen und Freiflächen und damit einhergehende projektbezogene Kosten. Der Anwendungsbereich umfasst den Neubau, Umbau und die Modernisierung von Bauwerken und Anlagen, die Norm an sich ist ausführungsbezogen strukturiert (DIN 276:2018-12)

In der ersten Ebene finden sich acht Kostengruppen (100, 200, ...), dabei zählen die Verkehrsanlagen zur Kostengruppe 300 Bauwerk - Baukonstruktionen. In der zweiten Ebene sind schwerpunktmäßig die Kostengruppen 310 Baugrube/Erdbau, 320 Gründung, Unterbau und 370 Infrastrukturanlagen vorzufinden, in dritter und letzter Ebene die Kostengruppe 371 Anlagen für den Straßenverkehr, der Oberbau. (DIN 276:2018-

12) Den Verkehrsanlagen werden die Entwässerungsanlagen zugeordnet (Siemon und Averhaus 2018).

Charakteristik von Straßenbauprojekten

Der klassische Lebenszyklus von Gebäuden findet im Rückbau und der damit einhergehenden Verwertung sein Ende (Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) 2018; DIN 18205:2016-11). Der Lebenszyklus einer Straße hingegen wird (durch Bedarfsplanung angestoßen) als Umbau oder Neubau erneut durchlaufen (Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) 2018).

Im Vergleich zum Hochbau, dessen Charakteristik schon passend im Namen beschrieben wird und sich durch Bauwerke, die in die Höhe entwickelt werden, auszeichnet, werden Straßenbauprojekte in der Horizontalen entwickelt.

Die Funktionalität für Bauwerke des Hochbaus wird vornehmlich durch das Innere des Gebäudes geprägt. Hier werden die Räume gemäß den Anforderungen des Wohnens, Arbeitens oder für die Freizeit gestaltet. Die Funktionalität von Straßen wird durch die äußerliche Form und den Verlauf der Straßentrasse definiert. (Cheng et al. 2016)

Die Rahmenbedingungen von Straßenbauprojekten, bezogen auf vielfältige Interessen der zumeist zahlreichen Stakeholder sind sehr heterogen. Das Einbeziehen der Öffentlichkeit zu mehreren Zeitpunkten im Planungsverlauf, insbesondere betroffener Einzelpersonen oder beispielsweise Träger öffentlicher Belange, aber auch Klagefristen und mögliche daraus hervorgehende Verfahren bis hin zu Enteignungsverfahren nach erfolgter Planfeststellung, führen zu langen Planungszeiträumen für Straßenbauprojekte. Dabei kann es im Rahmen des Anhörungsverfahrens bei Planänderungen aufgrund der Einspruchsmöglichkeit zu mehreren Feedbackschleifen kommen (Regierung von Oberbayern Stand: 2019). Lange Planungszeiträume führen wiederum dazu, dass für Projekte das Kosten-Nutzen-Verhältnis während des Planungszeitraums mehrfach neu beurteilt werden muss (RAA).

Mit abgeschlossenem Bau des Straßenprojekts beginnt die Betriebsphase. Dabei stellt die Gewährleistung einer stets funktionierenden Entwässerung von Oberflächenwasser (und ungebundenem Bodenwasser) eine übergeordnete Anforderung dar. Für die Verkehrsteilnehmer ergibt sich über „visuelle, sensitive und akustische Eindrücke“ (Beckmann et al. 2012, S. 2212) ein subjektives Bild über den Zustand der Straße. Der Baulastträger (Beckmann et al. 2012) hingegen erstellt für Bundesfernstraßen im 4-Jahres-Turnus eine Zustandserfassung und -bewertung, deren Ergebnisse in einem

Pavement Management System (PMS) verwaltet werden (Lehrstuhl und Prüfamf für Verkehrswegebau 2016). Dabei ergeben sich beispielsweise folgende Zustandsmerkmale (vgl. Beckmann et al. 2012, S. 2212):

- Asphaltstraßen: Ausmagerung bzw. Splittverlust, Ausbrüche, Flickstellen, offene Arbeitsnähte und Bindemittelanreicherungen
- Betonstraßen: Plattenbewegung, Abwandern von Platten, Plattenversatz, Eckabbrüche, Kantenschäden, Abplatzungen, mangelhafte Fugenfüllung und schadhafte Fugenvergussmassen
- Asphalt- und Betonstraßen: Risse, Spurrinnen, Längsunebenheiten/Wellen, mangelhafte Griffigkeit und unzureichender Wasserabfluss

Diese Merkmale unterliegen in Abhängigkeit des Schwerlastanteils des Verkehrs oder der Herstellungsqualität einer zunehmenden Verschlechterung über die Nutzungsdauer hinweg. Straßenerhaltungsmaßnahmen sollen der Verschlechterung entgegenwirken, dies geschieht je nach Schwere der Mängel durch die Zustandskontrolle, Wartung und Unterhalt und letztlich die bauliche Erhaltung. (Beckmann et al. 2012)

Der Betriebsdienst liegt in der Hand der Autobahnmeistereien beziehungsweise Straßenmeistereien und stellt die Betriebstauglichkeit der Straße sicher. Dies umfasst beispielsweise den Rückschnitt der Vegetation, Reinigungsarbeiten und den Winterdienst. (Beckmann et al. 2012)

Die bauliche Erhaltung der Straßen setzt sich aus Maßnahmen verschiedener Eingriffstiefe zusammen (vgl. Beckmann et al. 2012, S. 2212–2213): Die Instandhaltung mit kleinem Umfang (beispielsweise Schlaglochbeseitigung oder Fugenpflege) erhöht den Gebrauchswert geringfügig. Die Instandsetzung umfasst die Deckschicht über eine ganze Fahrstreifenbreite (beispielsweise Spurrinnenbeseitigung auf größeren Abschnitten oder allgemein großflächigere Oberflächenbehandlungen) und führt zu einer erheblichen Erhöhung des Gebrauchswerts. Die Erneuerung umfasst die ganze Fahrstreifenbreite und mehr als die Deckschicht (beispielsweise Ersatz der Betondecke für Betonstraßen) und erhöht den Gebrauchswert der Straße auf Neubauniveau.

Für Betondecken wird eine mittlere Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren erwartet, für Asphaltdecken 11 bis 16 Jahre (InformationsZentrum Beton GmbH).

2.2 Building Information Modeling (BIM)

Im White Paper des BSI Standards Ltd (2017) beschreibt der Autor Tom Bartley Building Information Modeling (BIM) wie folgt: „BIM involves all disciplines and professions involved in a project or asset management activity interacting and collaborating via a single source of project information, structuring and presenting data so that others can reuse it.“ (Bartley 2017, S. 5) Dieser Ansatz betont den prozessualen Charakter des BIM mit einer einzigen, zentralisierten und strukturierten Informations- oder Datenverwaltung.

Der *Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)* hebt die Bedeutung von Regularien und Standards als Verständigungsbasis in der Praxis hervor. Erwähnt werden einheitliche Regelungen für „Begriffsdefinitionen[, zur Festlegung von] Rollen, Verantwortlichkeiten und [...] [erforderlichen Kenntnissen] der Beteiligten[, sowie für] Datenstruktur und -handhabung[und zur Beschreibung von] unterschiedlichen Informationstiefen und -anforderungen [und] Schnittstellen“ (Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) Stand: 2019, S. 2). Diese werden in den folgenden Abschnitten als Grundlagen für die Methode des Building Information Modeling (BIM) betrachtet. Es werden zentrale Begrifflichkeiten geklärt, BIM-Prozesse und Anwendungsfälle im Projektverlauf vorgestellt und die Rollen der Projektbeteiligten dargestellt, wichtige Dokumente und Grundlagen des Datenaustauschs aufgezeigt.

Eine weitere Definition der Methode Building Information Modeling, die insbesondere durch Unternehmen aus dem Bereich der Infrastruktur vielfach aufgegriffen wurde, findet sich im Abschnitt 2.3.1 Stufenplan des BMVI.

2.2.1 Begriffe und Lebenszyklus eines Bauwerks

BIM - Building Information Modeling

Beim Begriff „BIM“ muss zunächst differenziert werden zwischen dem *Building Information Model* als „ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks mit großer Informationstiefe“ (Borrmann et al. 2015, S. 4) und der Methode *Building Information Modeling* als „kooperative Arbeitsmethodik“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 4).

Hausknecht und Liebich (2016) erwähnen bei der Begriffsdefinition vier Möglichkeiten für das „M“ in BIM: *Modeling Software* (bauteilorientierte Modellerstellung und -auswertung), *Model* (digitales Bauwerksmodell mit allen Informationen), *Modeling*

(Methode der integrierten Planung und Bauvorbereitung unterstützt durch Erstellung, Austausch und gemeinsame Nutzung von BIM-Modellen) und *Management* (strategische, durchgängige und projektbegleitende Steuerung der Prozesse mittels BIM-Methoden). (Hausknecht und Liebich 2016)

Bezogen auf die Methode BIM schlägt der AHO eine Erweiterung des Akronyms BIM zu BIMM, „Building Information Modeling and Management“ (AHO 2019, S. 3) vor.

3D-, 4D- und 5D-Modell

Im Mittelpunkt aller BIM-Prozesse steht das 3D-Modell. Entscheidend ist hierbei nicht nur der geometrische Informationsgehalt, der in der räumlichen Modellierung des Modells steckt und diesem direkt entnommen werden kann, sondern das Vorhandensein von Informationen nicht-geometrischer Natur (Borrmann et al. 2015). Nicht geometrische Daten werden als semantische (Borrmann et al. 2018) oder alphanumerische Information (Hausknecht und Liebich 2016) bezeichnet. Dazu zählen beispielsweise Daten zu durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV), Materialeigenschaften, zeitliche Informationen für den Bauablauf und Kosteninformationen.

Der zentrale Unterschied von BIM-Autorensoftware zu Programmen für einfache dreidimensionale Modellierung besteht in der Verwendung von Objektkatalogen (Borrmann et al. 2015), die vorgefertigte Elemente wie Straßenabläufe, Leitpfosten oder Verkehrsschilder zur Verfügung stellen. Auf die Bauwerksmodellierung wird im Kapitel 5.3 detaillierter eingegangen.

Entscheidend für die effiziente und erfolgreiche Arbeit mit BIM-Modellen ist die Verwendung unterschiedlicher Detaillierungsgrade (en: Level of Development (LOD)) für die einzelnen Modellobjekte. Dabei wird, abhängig von dem geplanten Einsatz des Modells und der Leistungsphase, das Modell beziehungsweise die Modellelemente in Abhängigkeit der Anforderung in geometrischer und semantischer Hinsicht unterschiedlich detailliert. Vereinfacht dargestellt, steigt die Detaillierung mit fortschreitender Leistungsphase. Die Thematik der Levels of Development (LODs) für Straßenbauprojekte wird ausführlich in Kapitel 4 behandelt.

Sind die Modellelemente mit chronologischer Information aus dem Terminplan angereichert, so wird die Modelldimension als 4D bezeichnet, bei zusätzlichen hinterlegten Kosten- und Abrechnungsinformationen wird von einem 5D-Modell gesprochen (Hausknecht und Liebich 2016).

little closed bim bis BIG OPEN BIM

In der Literatur finden sich für die Beschreibung der Verwendungsart der BIM-Methodik zumeist vier verschiedene Ausprägungen: *little bim* und *BIG BIM* einerseits und *Closed BIM* und *Open BIM* andererseits (Borrmann et al. 2015).

little bim ist dabei auf ein einzelnes Gewerk beschränkt. Datenübergaben zu anderen Gewerken oder Projektbeteiligten erfolgen über 2D-Zeichnungen. Das „große Potenzial einer durchgängigen Nutzung digitaler Gebäudeinformationen bleibt [...] [daher] unerschlossen“ (Borrmann et al. 2015, S. 33). Erfolgt hingegen die Verständigung der Projektbeteiligten mithilfe von Modellen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks, so wird dies als *BIG BIM* bezeichnet, die gemeinschaftliche Abwicklung erfolgt Cloud-basiert. Baldwin (2018) beschreibt mit dem Begriff *Transition BIM* die Zwischenstufe zu *little bim* und *BIG BIM* mit vereinzelt unregulierten Austausch von BIM-Modellen.

Kommen bei der Leistungserbringung lediglich herstellerspezifische Datenaustauschformate zum Einsatz, die innerhalb des Softwareportfolios eines einzelnen Herstellers verwendet werden, so spricht man von *Closed BIM*. Im Gegensatz dazu steht die Philosophie des *Open BIM*. Durch die Verwendung herstellernerneutraler Datenformate wird die Möglichkeit geschaffen, Datenübergaben zu Softwareprodukten anderer Hersteller ohne Informationsverlust zu bewerkstelligen. (Borrmann et al. 2015)

Die Kombination als *BIG Open BIM* bezeichnet folglich die Verwendung von BIM über den ganzen Lebenszyklus eines Objekts, durch alle Projektbeteiligten und mit der Verwendung offener Schnittstellen.

Asset-Informationsmodell (AIM) und Projekt-Informationsmodell (PIM)

Die DIN EN ISO 19650-1:2019-08 führt mit Erscheinen offiziell die Begriffe *Asset-Informationsmodell (AIM)* und *Projekt-Informationsmodell (PIM)* ein. Anhand des *Projekt-Informationsmodells* wird die Planung durchgeführt, es könnte daher auch *Planungsinformationsmodell*, bezogen auf Planung und Bau (Bereitstellung des Assets), genannt werden. Ein *Asset* bezeichnet dabei einen „baulichen Vermögensgegenstand“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 2). Damit beschreibt das *Asset-Informationsmodell* ein aus dem *PIM* hervorgehendes Modell, mit dem der Betrieb des Assets verwaltet wird.

BIM-Lebenszyklus

In der abstrakten Formulierung der DIN EN ISO 19650-1:2019-08 werden durch den Informationsbereitstellungszyklus Asset- und Projekt-Informationsmodelle erstellt, die „während des Lebenszyklus von Assets für asset- und projektbezogene Entscheidungen verwendet“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 21) werden. Untenstehende Abbildung 5 stellt den Lebenszyklus eines Assets im Kontext der Bereitstellungsphase (Planung und Bau des Assets) und der Betriebsphase dar und kennzeichnet die Zeitpunkte, zu denen die Informationen vom PIM zum AIM beziehungsweise umgekehrt übergeben werden.



Legende

- A Beginn der Bereitstellungsphase – Übertragung der relevanten Informationen von Asset-Informationsmodell (AIM) nach Projekt-Informationsmodell (PIM)
- B Progressive Weiterentwicklung des Design-Intent-Modells zum virtuellen Konstruktionsmodell (siehe 3.3.10, Anmerkung 1 zum Begriff)
- C Ende der Bereitstellungsphase – Übertragung der relevanten Informationen von Projekt-Informationsmodell (PIM) zu Asset-Informationsmodell (AIM)

Abbildung 5: Lebenszyklus eines Assets in der abstrahierten Sichtweise der DIN EN ISO 19650-1 (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 22)

Wesentlich für den inneren, blau eingerahmten Bereich des Informationsmanagements und damit Voraussetzung für eine erfolgreiche Abwicklung des Projektes, ist die eindeutige Beschreibung von Zuständigkeiten und die Beschreibung des Ausmaßes einer Aufgabe. Im Zentrum des Informationsmanagements und somit auch der

Aufgaben, stehen Informationscontainer, die von „verschiedenen Arbeitsgruppen stammen“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 12) können und eine Informationssammlung darstellen. Aus diesen können dann Informationsmodelle erstellt werden (DIN EN ISO 19650-1:2019-08), vergleichbar mit der Erstellung eines BIM-Gesamtmodells durch das Zusammensetzen einzelner Teilmodelle.

Deutlich konkreter erfolgt, wie in Abbildung 6 zu sehen, die Darstellung des BIM-Einsatzes im Lebenszyklus durch die *planen-bauen 4.0 GmbH* im ersten Teil der Handreichungen der ARGE BIM4INFRA2020 (2019b).

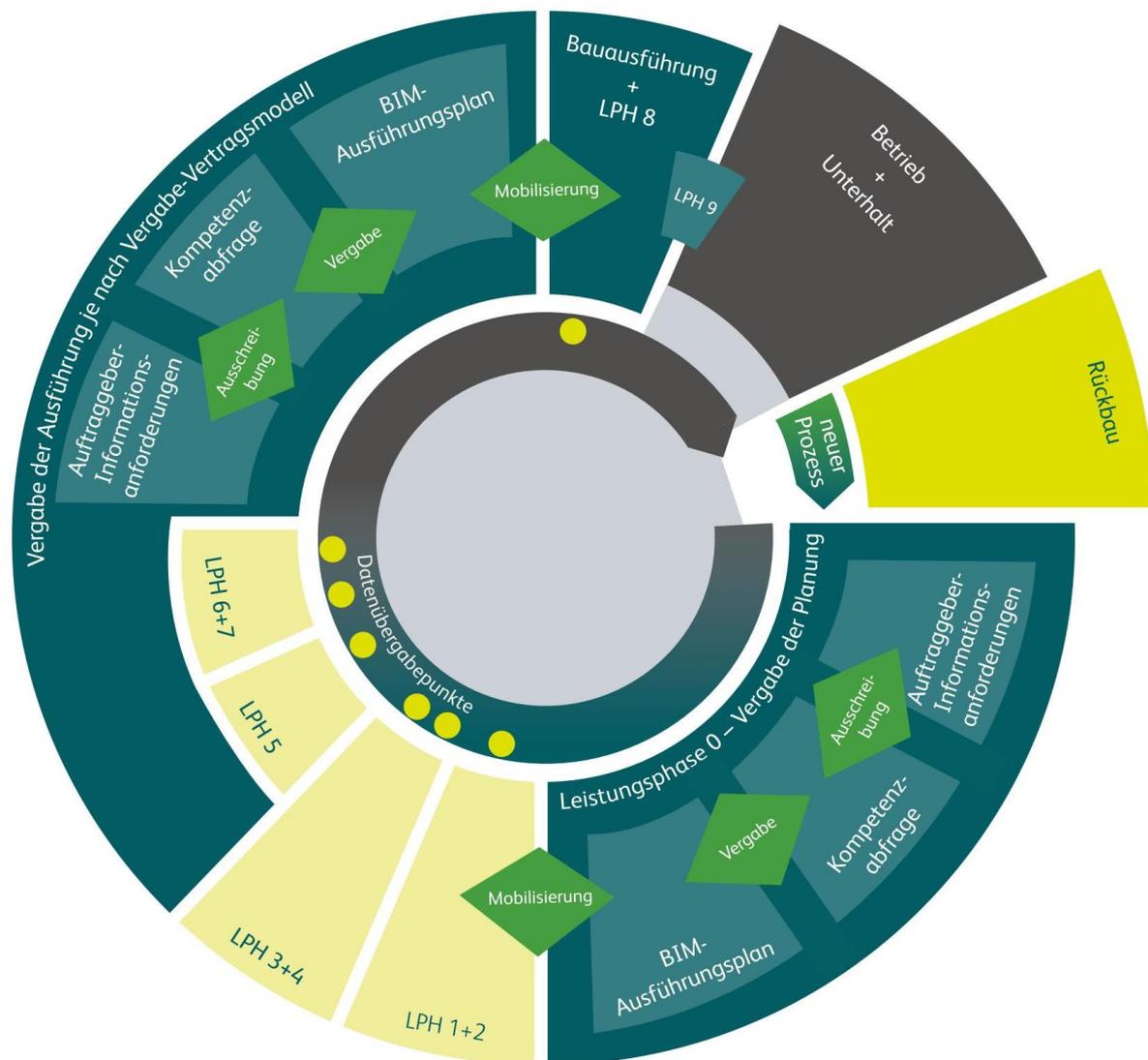


Abbildung 6: Lebenszyklus und BIM-Prozesse; urspr. Titel: „Schematische Darstellung des BIM-Referenz-Prozesses“ (Quelle: *planen-bauen 4.0 GmbH*, abgebildet in: ARGE BIM4INFRA2020 2019b, S. 8)

Dabei werden die klassischen HOAI-Leistungsphasen im Projektverlauf dargestellt und um zusätzliche Prozesse, die für die BIM-Projektentwicklung benötigt werden, ergänzt. Außerdem sind Entscheidungspunkte als grüne Rauten und Meilensteine (gelbe Kreise) als Datenübergabepunkte gekennzeichnet. Der Leistungsphase LPH 1 geht

die Erstellung weiterer Unterlagen voraus, je nach Vergabe- bzw. Vertragsmodell trifft dies auch auf andere Leistungsphasen zu. Zu diesen Unterlagen gehören unter anderem die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und der BIM-Abwicklungsplan (BAP), die als sogenannte BIM-Dokumente im nachfolgenden Abschnitt 2.2.2 vorgestellt werden.

Eine detaillierte Prozesslandkarte für einen BIM-Gesamtprozess findet sich in ARGE BIM4INFRA2020 2019b: Handreichungen und Leitfäden - Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Dort erfolgt die Unterteilung des Gesamtprozesses in die Projektstufen Projektvorbereitung, Planung, Ausführungsvorbereitung, Ausführung, Projektabschluss, Betrieb und Unterhalt und letztlich Instandsetzung, Umbau oder Rückbau als gleichzeitiges Ende und Start eines neuerlichen Gesamtprozesses. (ARGE BIM4INFRA2020 2019b)

2.2.2 BIM-Dokumente

AIA - Auftraggeber-Informationsanforderung und BAP - BIM-Abwicklungsplan

Die Handreichungen der ARGE BIM4INFRA2020 (2019a) identifizieren die *Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)* und den *BIM-Abwicklungsplan (BAP)* als zentrale Dokumente der BIM-Projektentwicklung. Die ARGE stimmt darin mit zahlreichen anderen Veröffentlichungen, beispielsweise dem *BIM-Leitfaden* der DEGES (DEGES 2019c), dem *BIM-Leitfaden für die Planerpraxis* des VBI (VBI 2016) oder dem Richtlinienentwurf des VDI *VDI 2552 Blatt 3* (VDI 2552 Blatt 3) überein. Die beiden Dokumente AIA und BAP „ergänzen die vertraglichen Bestimmungen für die Ausführung von Planungsleistungen mit der BIM-Methode und insbesondere auch Leistungsbilder von Planungsverträgen“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019b, S. 9). Der Inhalt der AIA konzentriert sich vordergründig auf messbare Leistungen und definiert klare Ergebnisse und Ziele der Planungsprozesse. Aus Sicht der ARGE ist der BAP als ein „gegenüber den AIA nachrangiges Dokument“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019b, S. 10) einzustufen. Er „definiert aufbauend auf den AIA detailliert die Zusammenarbeit im Projekt“ (VBI 2016, S. 9).

Die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) werden im Kapitel 3 *Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) für Straßenbauprojekte* umfangreich behandelt und auf den Stand der Forschung und der Praxis hin untersucht. Im Rahmen des Abschnitts 3.4 *Antwort eines Unternehmens* wird der BAP genauer vorgestellt und in den vertraglichen Rahmen eines BIM-Projektes eingeordnet.

MIDP - Master Information Delivery Plan

Zusätzlich zu beiden oben genannten Dokumenten fordert die DIN EN ISO 19650-2:2019-08 die Erstellung eines *Master-Informationsbereitstellungsplans (MIDP, en: Master Information Delivery Plan)*. Dieser enthält alle *aufgabenbezogenen Informationsbereitstellungspläne (TIDP, en: Task Information Delivery Plan)*, die wiederum für jede Aufgabe innerhalb des Gesamtprojektes insbesondere die Informationscontainer in Namen, Umfang, Zuständigkeiten und veranschlagter Dauer der Herstellung definieren. (DIN EN ISO 19650-2:2019-08)

BIM-BVB (Besondere Vertragsbedingungen BIM)

Um, analog zu den *Allgemeinen Vertragsbedingungen für freiberufliche Leistungen im Straßen- und Brückenbau (AVA F-StB)*, klare und für BIM-Projekte wiederverwendbare vertragliche Regelungen zu treffen, hat die Arbeitsgemeinschaft ARGE BIM4INFRA2020 (2019e) die Besonderen Vertragsbedingungen BIM (BIM-BVB) veröffentlicht. Die BIM-BVB regeln unter anderem die Geltungsreihenfolge der Vertragsunterlagen bei BIM-Projekten sowie die Verantwortungen und Pflichten des Auftragnehmers. Der Status als *Besondere Vertragsbedingungen* ergibt sich daraus, dass für Projekte bisher BIM-Leistungen individuell vereinbart werden. Mit einer zukünftigen Anpassung zu *Allgemeinen Vertragsbedingungen BIM* oder der Aufnahme in die *Allgemeinen Vertragsbedingungen* ist somit zu rechnen. Aktuell ist die Vereinbarung zur Anwendung der BIM-BVB sinnvoll, wenn im Projekt BIM-Anwendungsfälle (im nachfolgenden Abschnitt erläutert) umgesetzt werden sollen (ARGE BIM4INFRA2020 2019e).

2.2.3 BIM-Anwendungsfälle

Ein *BIM-Anwendungsfall (AWF)* wird in den BIM-Vorgaben der DB Station&Service AG und DB Netz AG als „der jeweilige Zweck, für den Daten und Informationen aus einem digitalen Modell des Bauwerks erstellt und verwendet werden. [...] [AWF stellen] die Arbeitsschritte für die Erstellung bzw. Nutzung des Modells [dar], um die im Projekt definierten Ziele zu erreichen“ (DB Station&Service AG und DB Netz AG 2018, S. 13) definiert. Dies deckt sich mit der Beschreibung der beiden Autoren Kreider und Messner der Computer Integrated Construction (CIC) Research Group aus dem Jahr 2013, in der ein *Anwendungsfall (en: BIM Use)* als „a method of applying Building Information Modeling during a facility’s lifecycle to achieve one or more specific objectives“ (Kreider und Messner 2013, S. 6) beschrieben wird. Die Anwendungsfälle leiten

sich aus den BIM-Zielen ab (Hausknecht und Liebich 2016) und durch die Abwicklung eines Anwendungsfalls kann mithilfe des daraus hervorgehenden Ergebnisses dann das jeweilige BIM-Ziel erreicht werden.

Inzwischen gibt es zahlreiche Ansätze von Organisationen und Unternehmen, die AWF zu benennen und zu beschreiben. Untersucht wurden im Rahmen dieser Arbeit insbesondere die BIM Uses der Computer Integrated Construction (CIC) Research Group (Messner et al. 2019), die AWF der DB Netz AG (2017) die AWF der OBERMEYER Planen + Beraten GmbH, aufgestellt in der Masterthesis von Nguyen (2019), die AWF formuliert durch die DEGES (2019a) und die AWF der ARGE BIM4INFRA2020 (2019f). Während die vier letztgenannten AWF-Zusammenstellungen den Bezug zur HOAI herstellen, ordnet die amerikanische CIC die Anwendungsfälle den *Phasen Plan, Design, Construct* und *Operate* zu. Die DEGES und OBERMEYER verwenden in Zahlen jeweils 39 und 25 AWF, wobei die DEGES auch AWF für Qualitätsmanagement definiert. Die DB Netz AG definiert für deren AWF die schärfste Trennung nach Leistungsphasen. Im *Anhang B - Anwendungsfälle* erfolgt die Darstellung von Übersichten für die jeweiligen Aufstellungen der AWF. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde, mit Ausnahme für die CIC, das Format der Tabellen angeglichen.

Die vorliegende Thesis soll sich an der durch die ARGE BIM4INFRA2020 (2019f) erstellten Auflistung beziehungsweise Zuordnung der Anwendungsfälle orientieren, die in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt ist. Gründe hierfür sind einerseits die schlanke Herangehensweise durch die begrenzte Anzahl von Anwendungsfällen, andererseits das Vorliegen umfangreicher Untersuchungen, die für den überwiegenden Teil der vorgestellten AWF ein positives Aufwand-Nutzen-Verhältnis nachweisen konnten (ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2018). Tabelle 1 zeigt die Zusammenfassung von Anwendungsfällen zu den *Hauptgruppen Bestandserfassung, Planung, Genehmigung, Vergabe, Ausführungsplanung und Ausführung* und *Betrieb*.

Tabelle 1: Übersicht über Anwendungsfälle für BIM-Projekte (Quelle: geringfügig bearbeitet aus ARGE BIM4INFRA2020 2019f, S. 8)

Hauptgruppen	HOAI LPH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
		Grundlagenermittlung	Vorplanung	Entwurfsplanung	Genehmigungsplanung	Ausführungsplanung	Vorbereitung der Vergabe	Mitwirkung bei der Vergabe	Objektüberwachung	Objektbetreuung	Betrieb
Bestandserfassung											
AWF 1 Bestandserfassung		X	X								
Planung											
AWF 2 Planungsvariantenuntersuchung			X								
AWF 3 Visualisierungen			X	X	X	X			X		
AWF 4 Bemessung und Nachweisführung				X	X	X					
AWF 5 Koordination der Fachgewerke			X	X		X					
AWF 6 Fortschrittkontrolle der Planung						X					
AWF 7 Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen			X	X	X						
AWF 8 Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung				X		X			X		
AWF 10 Kostenschätzung und Kostenberechnung			X	X							
Genehmigung											
AWF 9 Planungsfreigabe			X	X	X	X					
Vergabe											
AWF 11 Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe							X	X			
Ausführungsplanung und Ausführung											
AWF 12 Terminplanung der Ausführung				X	X	X			X		
AWF 13 Logistikplanung						X			X		
AWF 14 Erstellung von Ausführungsplänen						X					
AWF 15 Baufortschrittskontrolle									X		
AWF 16 Änderungsmanagement									X		
AWF 17 Abrechnung von Bauleistungen									X		
AWF 18 Mängelmanagement									X	X	
AWF 19 Bauwerksdokumentation										X	
Betrieb											
AWF 20 Nutzung für Betrieb und Erhaltung											X

Die Umsetzbarkeit der Anwendungsfälle wird in Kapitel 2.3 behandelt. Von zentraler Bedeutung ist, „dass sich durch die Anwendung von BIM keine Planungs- oder Ausführungsleistungen ändern sollen, sondern lediglich die Methoden, um diese zu erbringen“ (ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2018, S. 8). Daraus folgt eine grundsätzliche Vereinbarkeit von Anwendungsfällen und den Leistungsbildern der HOAI.

2.2.4 BIM-Modelle

Im Zentrum der BIM-Methode steht das Modell als digitaler Zwilling für den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks (vgl. ARGE INFRABIM 2018, S. 30). Der VDI identifiziert verschiedene grundlegende Modellarten, wie in Tabelle 2 aufgeführt, die im Prozess des Building Information Modeling von Bedeutung sind und in nahezu allen Projekten regelmäßig wiederkehren (VDI 2552 Blatt 4 Entwurf).

Tabelle 2: Modellarten für BIM-Projekte (Quelle: eigene Darstellung nach VDI 2552 Blatt 4 Entwurf, S. 8–10)

Modellart	Merkmale des Modells
Grundlagenmodell	ein Modell als gemeinsame Projektgrundlage, enthält geometrische und georeferenzierte Daten wie z.B. Projektbasispunkt oder Gelände/Baugrund
Fachmodell	enthält die eigentliche Planungsleistung eines Fachplaners, bspw. Verkehrsanlagenplanung, Landschaftsplanung oder Ausstattungsplanung
Koordinationsmodell	entsteht aus der Koordination der Fachmodelle, wird zu festgelegten Zeitpunkten erstellt, ermöglicht vielfältige Prüfungen wie Kollisionsprüfungen und dient als wichtige Kommunikationsgrundlage für die Stakeholder im Projekt
Bestandsmodell	enthält geometrische und alphanumerische Informationen zum Bestand und dient als Grundlage für die Planung, muss eher den Ansprüchen eines Planungsmodells als denen eines Grundlagenmodells entsprechen
Wie-Gebaut-Modell	dokumentiert das tatsächlich erstellte Bauwerk oder Teilbauwerk, Anforderungen stark auf Nutzungszweck ausgerichtet
Betreibermodell	auf den Betrieb hin optimiertes Modell das aus dem Wie-Gebaut-Modell entsteht, Informationen und Darstellung sind auf den Betrieb des Bauwerks ausgerichtet (AIM)

Die Arbeitsweise bei BIM-Projekten erfordert nicht die ständige Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten an einem einzelnen Gesamtmodell, sondern basiert auf Fachmodellplanung, bei dem jeder Fachplaner sein entsprechendes Modell erstellt. Die einzelnen Fachmodelle werden regelmäßig koordiniert, also auf Konsistenz gegenüber den übrigen Fachmodellen hin geprüft und zu einem Gesamtmodell zusammengesetzt. (VDI 2552 Blatt 4 Entwurf)

2.2.5 Rollen der Projektbeteiligten

Im Vergleich zu den klassischen Rollen bei der Organisation von Projekten ohne BIM, ergeben sich durch die Projektabwicklung mit BIM neue Rollen beziehungsweise Aufgaben für die Projektbeteiligten. Dies resultiert zum einen aus dem großen Umfang an Informationen, der zwischen den einzelnen Akteuren koordiniert werden muss und zum anderen aus der gleichzeitigen hohen Qualitätsanforderung, der diese Daten genügen müssen (Hausknecht und Liebich 2016).

Borrmann et al. formulierten hierfür bereits 2015 die Rolle des BIM-Managers. Hintergrund für die Schaffung dieser neuen Rolle ist die Vielschichtigkeit der Anforderungen, die sich insbesondere durch das Ineinandergreifen von „Ingenieurwissenschaft und Informationstechnologie“ (Borrmann et al. 2015, S. 237) bei der Organisation von BIM-Projekten ergeben. Die Position des BIM-Managers im gesamten BIM-Prozess ist von zentraler Bedeutung und der Sphäre des Auftraggebers zuzuordnen (AHO 2019). Seine Aufgaben umfassen in strategischer Hinsicht „die Implementierung von BIM innerhalb einer Organisation“ (Baldwin 2018, S. 15) und in operativer Hinsicht die projektbezogene Repräsentation dieser nach außen hin (Baldwin 2018). Dabei liegt unter anderem die Erstellung der AIA mit den erforderlichen Inhalten in dessen Verantwortungsbereich (DEGES 2019c). Abbildung 7 zeigt den BIM-Manager in der übergeordneten Stellung über dem BIM-Gesamtkoordinator, welcher hierarchisch wiederum oberhalb der einzelnen BIM-Koordinatoren angesiedelt ist. Der BIM-Gesamtkoordinator und die BIM-Koordinatoren stehen vertraglich auf der Seite des Auftragnehmers.

Weitere Aufgaben des BIM-Managers sind die Funktion als Ansprechpartner für BIM-Fragen im Projekt- und Qualitätsmanagement bezogen auf sowohl Prozesse als auch Modelle und sonstige Unterlagen (ARGE BIM4INFRA2020 2019d).

Im Zuständigkeitsbereich des BIM-Gesamtkoordinators liegt die Koordination der einzelnen Fach- bzw. Teilmodelle im Sinne der Zusammenführung zum *BIM-Koordinationsmodell* und die Qualitätsprüfung desselben, beispielsweise durch Kollisionsprüfungen (AHO 2019).

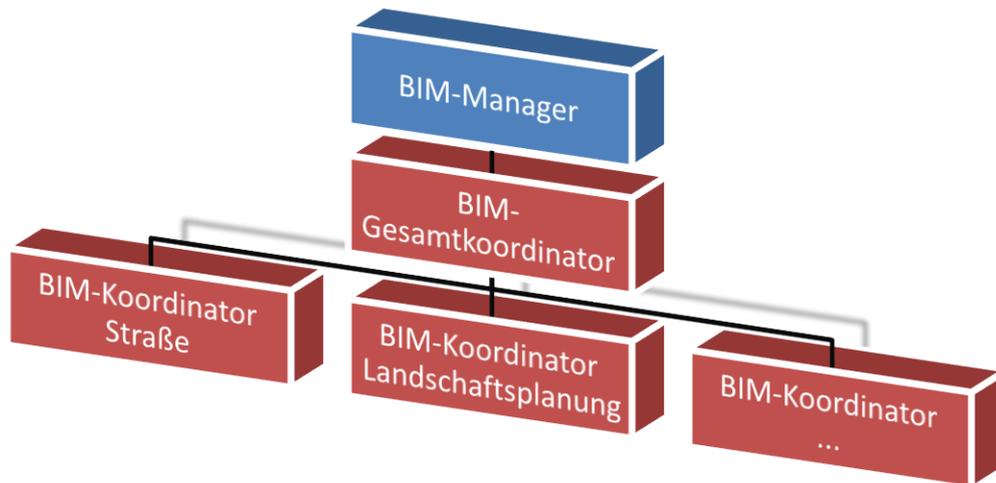


Abbildung 7: Organigramm der BIM-Projektentwicklung (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Hausknecht und Liebich 2016, S. 174)

Den einzelnen BIM-Koordinatoren obliegt die Verantwortung für die Fachplanung ihres Gewerks und die damit verbundene Lieferung eines koordinierungsfähigen Teilmodells an den BIM-Gesamtkoordinator.

2.2.6 Datenaustausch und Zusammenarbeit

Zwei besondere Herausforderungen für eine erfolgreiche Abwicklung von BIM-Projekten sind die Realisierung eines Datenaustausches nach dem Prinzip des BIG Open BIM und die Gestaltung einer erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stakeholdern des Projekts.

CDE - Common Data Environment

Um der Philosophie des BIG Open BIM, also der BIM-Zusammenarbeit in einem heterogenen Softwareumfeld an dem alle Projektbeteiligte teilnehmen, gerecht zu werden, muss die Ablage von Daten auf einer Projektplattform zentralisiert erfolgen (Hausknecht und Liebich 2016). Hierfür wird die Einführung einer gemeinsamen Datenumgebung gefordert (DIN EN ISO 19650-1:2019-08).

Die *Gemeinsame Datenumgebung (CDE, en: Common Data Environment)* ist die „vereinbarte Umgebung für Informationen [...] für ein bestimmtes Projekt oder für ein Asset [...], um jeden Informationscontainer [...] über einen verwalteten Prozess zu sammeln, zu verwalten und zu verbreiten“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 13). Die Verwendung einer einzigen zentralen Plattform ermöglicht die Implementierung eines klar definierten Workflows. Ein solcher Workflow beinhaltet die Einführung eines Status für jeden Informationscontainer, der zu jedem Zeitpunkt genau einen Status annehmen

kann: *in Bearbeitung, geteilt, veröffentlicht* und *archiviert* (DIN EN ISO 19650-1:2019-08). Aus dieser Kategorisierung folgt, dass die CDE zur „Single Source of Truth (SSoT)“ (thinkproject Deutschland GmbH (thinkproject!), S. 8; DEGES 2019c, S. 15) für jede Projektinformation wird, von dort also der aktuellste (koordinierte) Stand für jeden Datencontainer zu jedem Zeitpunkt abrufbar ist und diese dabei die einzige Bezugsquelle von Projektinformationen für alle Projektbeteiligten darstellt.

IFC - Industry Foundation Classes

Bei jedem Datenaustausch zwischen Projektbeteiligten muss sichergestellt werden, dass die Information bezogen auf Quantität und Qualität vor dem Austausch der Information nach dem Austausch entspricht. Wird beispielsweise eine *.dwg Datei zwischen zwei Programmen vom Hersteller Autodesk ausgetauscht, so wird, außer im Falle einer beschädigten Datei, keine Information verloren gehen, da die Interpretierbarkeit für das jeweils andere Programm gegeben ist. Sollen Daten zwischen Softwareprodukten unterschiedlicher Hersteller ausgetauscht werden, kann dies schwierig bis unmöglich sein, solange dies im jeweils angestammten, spezifischen Datenformat erfolgen soll.

Um dieser Problematik entgegenzuwirken, entwickelt die non-profit Organisation buildingSMART International seit dem Jahr 2005 (beziehungsweise seit 1994, damals noch als IAI, International Alliance for Interoperability) das Austauschformat *Industry Foundation Classes (IFC)* (buildingSMART International (bSi) 2019e). Durch die DIN EN ISO 16739:2017-04 und E DIN EN ISO 16739-1:2019-09 wurden die IFC zum offenen, internationalen Standard erhoben. Die IFC sind eine standardisierte digitale Beschreibung der gebauten Umwelt, einschließlich Gebäuden und ziviler Infrastruktur, die herstellerneutral für verschiedenste Anwendungsfälle und zahlreiche Softwareplattformen und Schnittstellen einsetzbar ist (vgl. buildingSMART International (bSi) 2019e). buildingSMART International (bSi) beschreibt das IFC-Schema als standardisiertes Datenmodell, das auf logische Art und Weise folgende Informationen in Programmiersprache abbildet (buildingSMART International (bSi) 2019e):

- Objekte und deren Geometrie
- Identität und Semantik (Name, maschinenlesbarer eindeutiger Identifikator, Objekttyp oder Funktion)
- Eigenschaften oder Attribute (z.B. Material, Farbe und thermische Eigenschaften)
- Beziehungen (wie Einbauort oder Verbindungen zu anderen Bauteilen) zu Objekten (wie Säulen oder Fundamente)

- abstrakte Verknüpfungen (Leistung, Kostenrechnung)
- Vorgänge oder Prozesse (Installation, Betrieb)
- Stakeholder (Eigentümer, Designer, Auftragnehmer, Lieferanten, etc.)

Aktuelle, offizielle Formate sind (buildingSMART International (bSi) 2019b):

- *STEP Physical File (SPF)* als *.ifc-Format
- *Extensible Markup Language (XML)* als *.ifcXML-Format
- *ZIP* als *.ifcZIP-Format

Dabei ist die aktuellste Version der IFC Spezifikation die Version 4.2.0.0 unter dem Namen IFC4.2 vom April 2019, die jedoch noch nicht den Status *Offiziell* erhalten hat. (buildingSMART International (bSi) 2019d)

MVD - Model View Definition

Eine Model View Definition (MVD) ermöglicht dem Planer, Teilmengen (Objekte, Beziehungen, Attribute, etc.) des IFC-Schemas zu definieren. Dies kann die zu übermittelnde Datenmenge beim Datenaustausch erheblich reduzieren, indem die Dateien für einen bestimmten Zweck oder Anwendungsfall vorgefiltert werden. Eine MVD kann gespeichert und mehrfach erneut initialisiert werden. (buildingSMART International (bSi) 2019f)

BCF - BIM Collaboration Format

Um im Projekt die Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten zu fördern, hat buildingSMART International (bSi) die Entwicklung des *BIM Collaboration Formates (BCF)* vorangetrieben. Als offener Standard analog zu IFC, ermöglicht BCF eine Kommunikation mittels - aufgrund der im Verhältnis zur IFC-Datei geringen Datenmenge leicht austauschbaren - BCF-Dateien (*.bcfZIP, *.bcfXML oder *.bcfAPI). In der Praxis werden dazu eine feste Betrachterposition auf ein Modellelement, ein Screenshot, Anmerkungen und gegebenenfalls weitere Details übergeben. Dies führt zu einer zügigen und fehlerreduzierten, da eindeutigen, Kommunikation. (buildingSMART International (bSi) 2019a; Graphisoft Deutschland GmbH 2019)

buildingSMART sorgt für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Standards für IFC, MVD und BCF. Gleichzeitig besteht für die Softwarehersteller die Möglichkeit, den IFC-Datenaustausch ihrer Programme von *buildingSMART* zertifizieren zu lassen (buildingSMART International (bSi)).

2.3 BIM in der Infrastruktur

Dieser Abschnitt betrachtet die Methode Building Information Modeling im Kontext von Infrastrukturprojekten. Hierbei wird zuerst der Stufenplan des *Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur* als verbindlicher Zeitplan für die breite Einführung von BIM vorgestellt. Anschließend erfolgt die Klärung des Status Quo für BIM in der Infrastruktur in Verbindung mit dem Datenaustausch für BIM im Infrastrukturbereich für Deutschland und international.

Auf Merkmale der Modellierung von Infrastrukturmodellen wird im Kapitel 5.3 detailliert eingegangen.

2.3.1 Stufenplan des BMVI

Der *Stufenplan Digitales Planen und Bauen* beruht auf der Initiative des *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)* von Ende 2015 und hat zum Ziel, „das digitale Planen und Bauen bundesweit zum Standard zu machen“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 1) und dabei insbesondere die Methode des Building Information Modeling „bis 2020 zum neuen Standard für Verkehrsinfrastrukturprojekte“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 1) einzuführen.

Im Vorwort beschreibt Alexander Dobrindt, ehemaliger Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur (Dezember 2013 bis September 2017), die Methode des Building Information Modeling wie folgt:

„BIM bildet den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts virtuell ab: vom Entwerfen und Planen eines Bauwerks über den Bau und den Betrieb bis zu seinem Abriss. Durch diese Innovation erhalten alle Beteiligten Zugriff auf virtuelle Pläne, die Steuerung von Prozessen, umfangreiche Datenbanken und 3D- bis 5D-Bauwerksmodelle. Architekten, Bauherren, Planer, Ingenieure, Statiker, Betreiber und Gebäudeausrüster arbeiten Hand in Hand.“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 3)

Erreicht werden soll dies über drei Phasen, veranschaulicht in Abbildung 8, die schrittweise eine Steigerung des Niveaus für BIM-Planungen abverlangen.

Im ersten Schritt erfolgte von 2015 bis 2017 die Vorbereitungsphase, in der ausgewählte Pilotprojekte sowie die Schaffung von Grundlagen (beispielsweise Standardisierung oder Beantwortung rechtlicher Fragen) im Vordergrund standen.

Ab Mitte 2017 wurde die erweiterte Pilotphase angestoßen und eine steigende Anzahl von Pilotprojekten auf Leistungsniveau 1 bearbeitet.



Abbildung 8: Stufenplan: zeitliche Entwicklung hin zum BIM-Leistungsniveau 1 ab 2020 (Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015, S. 5)

Mit Erreichen der letzten Stufe soll ab dem Jahr 2020 für alle neuen Projekte die Abwicklung mit BIM auf Leistungsniveau 1 erfolgen.

Das Leistungsniveau 1 stellt die zu erreichende Mindestanforderung für alle Projekte ab 2020 dar. Voraussetzung hierfür ist, dass Auftraggeber wie Auftragnehmer den Anforderungen für die Bereiche *Daten*, *Prozesse* und *Qualifikation* gerecht werden können. Nachfolgend sind die wichtigsten Anforderungen aus dem Stufenplan aufgelistet. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2015)

Anforderungen an Daten

- Definition von Leistungssoll und Lieferzeitpunkt von Daten in den AIA durch den Auftraggeber
- Prüfung von gelieferten Daten auf Übereinstimmung mit den Anforderungen aus den AIA
- Verwendung offener Datenformate im Sinne des Open BIM und frei Wahl der Softwareprodukte durch den Auftragnehmer

- Erstellung von Leistungen beruht auf 3D-Fachmodellen und Erstellung eines Koordinationsmodells
- Festschreibung von BIM im Vertrag und damit einhergehende Festlegung rechtlicher Verantwortung der Projektbeteiligten

Anforderungen an Prozesse

- Definition des Herstellungsprozesses im BAP
- Einrichtung einer CDE
- Schlanke Projektdurchführung durch Orientierung der Informationserzeugung am jeweiligen Anwendungsfall
- Formulierung einer Projektcharta zur Förderung der Zusammenarbeit
- Vorhalten einer Möglichkeit zur internen und externen Schlichtung für den Streitfall

Anforderungen an Qualifikation

- Notwendigkeit von BIM-Kompetenzen auf Seiten des Auftragnehmers und Auftraggebers
- Bereitschaft für partnerschaftliche Zusammenarbeit

2.3.2 Status Quo in Deutschland

Um „die Tiefe der BIM-Umsetzung in einem Bauvorhaben“ (Borrmann et al. 2017, S. 215) systematisch aufzunehmen und dadurch den BIM-Einsatz qualitativ und quantitativ zu messen, wurde durch Borrmann et al. für die wissenschaftliche Begleitung der Pilotprojekte die INFRABIM-Reifegradmetrik entwickelt. Im Gegensatz zu bestehenden Messverfahren eignet sich diese besser für Projekte im Bereich der Infrastruktur. (Borrmann et al. 2017)

In der Vorbereitungsphase 2015 - 2017 wurden erste BIM-Pilotprojekte im Infrastrukturbau abgewickelt und durch die *Arbeitsgemeinschaft INFRABIM* wissenschaftlich begleitet. Mittels 62 Kriterien und einer Bewertung beginnend bei 0 - *nicht vorhanden/nicht genutzt* bis 5 - *optimal umgesetzt* erfolgte die Bewertung der Pilotprojekte (Borrmann et al. 2017). Dabei konnten laut Endbericht der ARGE verschiedene Potentiale, wie Verbesserung von Transparenz in der Kommunikation oder Kollisionsprüfung und Mengenermittlung an Bauwerksmodellen, bestätigt werden (ARGE INFRABIM 2018).

Umsetzbarkeit der Anwendungsfälle

Im Bericht der ARGE BIM4INFRA2020 *Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“* (Stand: 2018) erfolgte, wie bereits in Tabelle 1 (Abschnitt 2.2.3) dargestellt,

die Zuordnung der Anwendungsfälle zu den jeweiligen Hauptgruppen. Ebenso wurde die Zuordnung zu den Leistungsphasen LPH 1 - 9 der HOAI beziehungsweise „B“ für Betrieb vorgenommen. Für jeden AWF wurde für Auftraggeber und Auftragnehmer der Implementierungsaufwand und der potentielle Mehraufwand im Projekt mit 0, 1, 2 oder 3 quantifiziert, wobei 0 keinen und 3 signifikant höheren Aufwand beschreibt. Der Nutzen wurde analog untersucht, wobei 3 einen deutlich erhöhten Mehrwert darstellt. Mithilfe der erhobenen Werte wurde abschließend eine Aufwand-Nutzen-Betrachtung vollzogen. Je nach Verhältnis wurden die AWF den Szenarien *Einstieg*, *Aufbruch* oder *Höchstleistung* zugeordnet, dargestellt in Abbildung 9.

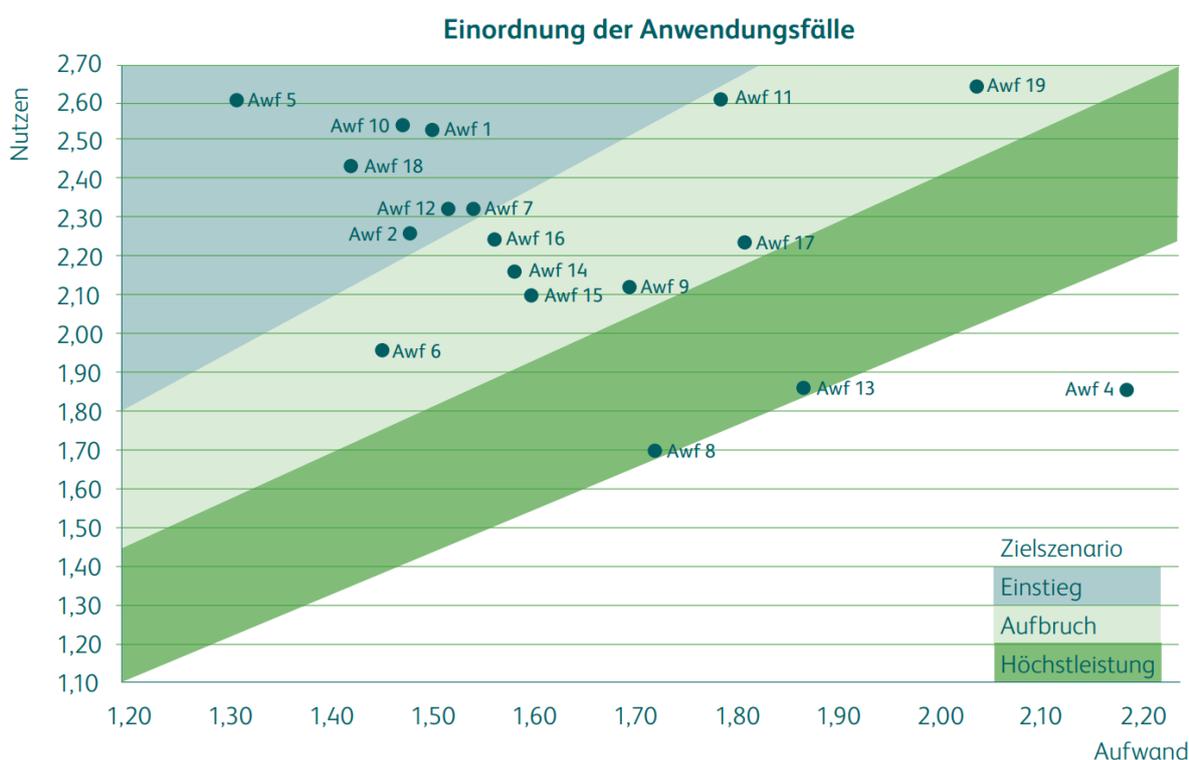


Abbildung 9: Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Anwendungsfälle (Quelle: ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2018, S. 15)

Die Szenarien *Aufbruch* und *Einstieg* enthalten aus Sicht der ARGE BIM4INFRA2020 diejenigen Anwendungsfälle, die derzeit bei vertretbarem Aufwand einen Nutzen erzielen und für die eine Umsetzung des Leistungsniveau 1 ab dem Jahr 2020 empfohlen wird. Die Umsetzung der Anwendungsfälle wird im Anhang des Berichts eingehend beschrieben. (ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2018)

Handreichungen der ARGE BIM4INFRA2020

Aufbauend auf die Erfahrungen aus den Pilotprojekten hat die ARGE BIM4INFRA2020 im Verlauf des Jahres 2019 insgesamt 10 Handreichungen bzw. Leitfäden veröffentlicht. Diese richten sich hauptsächlich an öffentliche Auftraggeber aus dem

Infrastrukturbereich, können aber ebenso für potentielle zukünftige Auftragnehmer einen erheblichen Mehrwert bieten, da sie der „deutschen BIM-Szene“ im Infrastrukturbereich eine einheitliche Orientierungshilfe und insbesondere Masterdokumente liefern. Bisher existieren für den deutschen Raum neben einzelnen VDI-Richtlinien und einigen wenigen ISO-Normen lediglich uneinheitliche Richtlinien von Unternehmen und anderweitigen Organisationen beziehungsweise Vereinen. Insbesondere bei der Normung und Standardisierung als wichtige Basis einer erfolgreichen Projektabwicklung sieht die ARGE INFRABIM Handlungsbedarf. Dabei sollen sich deutsche Stakeholder aus dem Bereich Infrastruktur stärker an den Normierungsprozessen beteiligen. (ARGE INFRABIM 2018)

OKSTRA - Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen

Auf der Website des *OKSTRA - Objektkatalog für das Straßen - und Verkehrswesen*, wird dieser als eine Sammlung von Objekten aus dem Bereich des Straßen- und Verkehrswesens beschrieben, dessen Ziel ein gemeinsames Verständnis dieser Objekte für die jeweiligen Fachbereiche ist. Daraus kann das Austauschformat OKSTRA-XML abgeleitet werden. (Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) 2019)

Aktuell soll das Datenmodell des OKSTRA-Kataloges erweitert werden, um Volumenkörper beschreiben zu können, ähnlich den IFC (ARGE BIM4INFRA2020 2019h).

Über die bereits vorgestellten Datenaustauschformate hinaus, bestehen noch andere, häufig herstellerspezifische Dateiformate, die nur teilweise von Software anderer Hersteller unterstützt wird.

2.3.3 Status Quo international

Im Hochbau ist die Anwendung von BIM unter anderem in den USA, Finnland und Norwegen bereits weit verbreitet (Amann und Borrmann 2015), Großbritannien hat seit dem Jahr 2016 die BIM-Methode für alle Regierungsprojekte vorgeschrieben.

Für BIM-Projekte in Großbritannien ist das Leistungsniveau *Level 2* (näher spezifiziert in der, inzwischen durch die BS EN ISO 19650 ersetzten PAS 1192-2:2013) vorgeschrieben. BIM Level 2 umfasst das Erstellen von 3D-Modellen mit zugeordneten Attributinformationen und ermöglicht sowohl dem Eigentümer des Assets, als auch anderen Projektbeteiligten die Zusammenarbeit über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks. Der Informationsaustausch über Dokumente soll dabei nicht erfolgen. (Bartley 2017) In der Veröffentlichung *BIM Guidance for Infrastructure Bodies*

hingegen sprechen sich das Department for Transport und die UK Roads Liaison Group (UKRLG) dafür aus, möglicherweise zuerst BIM Level 1 Fähigkeiten zu erreichen, anstatt direkt das Level 2 anzuvisieren (Department for Transport und UK Roads Liaison Group (UKRLG) 2016). BIM Level 1 soll CAD- und 3D-Modellierungs-Methoden standardisieren und die Grundlagen der Projektzusammenarbeit schaffen. Zusätzlich wird durch eine Formalisierung der Prozesse, wie beispielsweise Qualitätsmanagement, Informationsaustausch und Benennung von Dokumenten und CAD-Dateien, die Grundlagen für die Schaffung eines CDE gelegt. (Bartley 2017) Nachfolgende, andernorts vielzitierte Grafik in Abbildung 10 verdeutlicht, dass BIM Level 1 nicht den Ansprüchen des BIM Level 2 genügt.

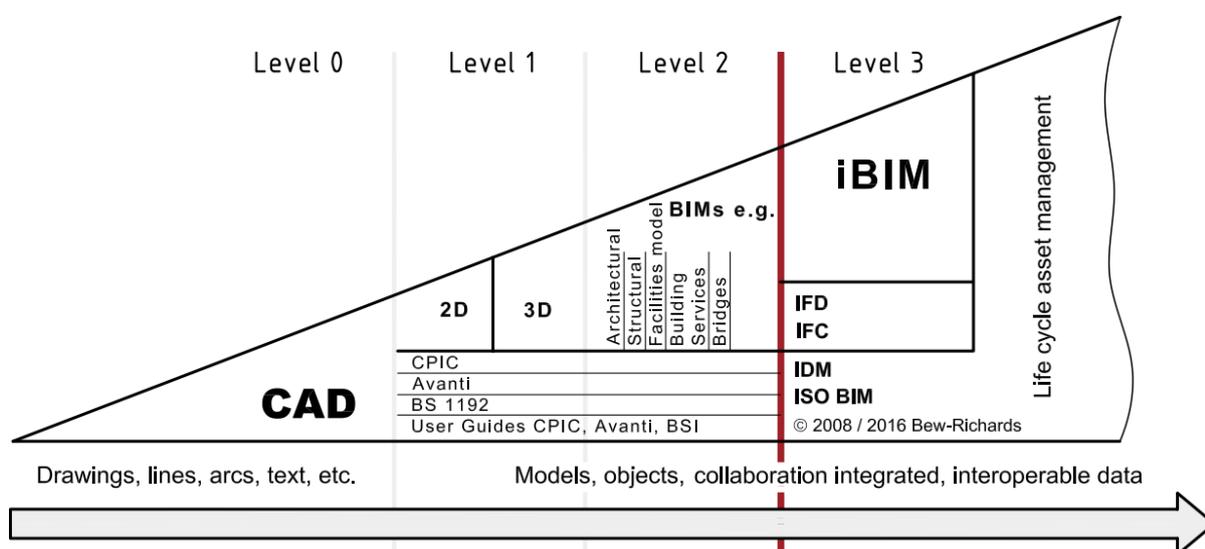


Abbildung 10: BIM Reifegradmodell (Quelle: Bartley 2017, S. 6 (ursprünglich: Bew, M. and Richards, M., (2008) BIM Maturity Ramp))

Der rote Balken symbolisiert die Grenze von BIM Level 2 zu BIM Level 3 als aktuellen Stand der Einführung in Großbritannien. Die Inhalte des Level 3 sind von Bartley (2017) nur als Vision formuliert, die eine tiefgehende Verknüpfung verschiedener Daten vorhersieht. (Bartley 2017)

Im Paper von Cheng et al. (2016) wird der Begriff des Civil Information Modeling (CIM) geprägt. Dabei werden drei Hauptunterschiede zwischen BIM als klassischer Repräsentant des Hochbaus und CIM als Infrastrukturprojekt ausgemacht (Cheng et al. 2016):

- Struktur und Elemente der Bauwerke: Strukturell interagiert ein Gebäude lediglich im begrenzten Bereich der Fundamente und wird anschließend in die Höhe (mit mehreren Stockwerken) gebaut, eine Straße liegt jedoch an jeder Stelle im

Gelände. Elementbezogene Unterschiede sind beispielsweise die Abwesenheit von Fenstern und Türen im Straßenbau.

- Bezeichnung von Elementen: Vertikale Stützen werden bei Gebäuden als Säulen bezeichnet und bei Brücken als Pfeiler. Daraus ergeben sich für Infrastrukturprojekte Schwierigkeiten bei der 1:1-Verwendung von Datenschemata aus dem Hochbau.
- Herangehensweise bei der Modellierung: Gebäude werden vertikal, von unten nach oben aufgebaut, für Straßen erfolgt die Entwicklung der Planung in der Horizontalen, beispielsweise ausgehend von einem Start- und einem Zielpunkt mit Zwangspunkten durch Gebäude oder Brücken dazwischen.

Das Informationsmanagement und die Vorgänge zum Datenaustausch werden als ähnlich erachtet (Cheng et al. 2016). Dabei erfolgte der Datenaustausch in den meisten BIM-Projekten im Straßenbau bisher durch das Dateiformat *.LandXML (Cheng et al. 2016). Die Autoren Cheng et al. (2016) stellten ebenfalls fest, dass die Anwendung von BIM für Infrastrukturprojekte insbesondere in Nord- und Südamerika und Asien im Vergleich zu den restlichen Kontinenten verbreiteter ist.

Aus aktueller Sicht kann festgehalten werden, dass insbesondere durch die Bemühungen des buildingSMART International (bSi) (2019d) bei der Erweiterung der IFC Spezifikationen bereits Fortschritte in der Abbildbarkeit von Infrastrukturmodellen und -elementen durch die IFC erfolgt sind und weitere noch erfolgen werden. (buildingSMART International (bSi) 2019c)

Bradley et al. (2016) erstellten in ihrer Arbeit *BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective* eine Übersicht über die Publizierungen im Bereich BIM nach Ländern. Dabei konnte festgestellt werden, dass die meisten Veröffentlichungen durch die USA, Südkorea und China erfolgten (jeweils mindestens 40 Schriften), dahinter als europäische Akteure Großbritannien (23) und Deutschland (20), ausgehend von insgesamt 259 berücksichtigten Dokumenten aus 27 Ländern. (Bradley et al. 2016)

3 Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) für Straßenbauprojekte

Dieses Kapitel befasst sich ausführlich mit den Auftraggeber-Informationsanforderungen für Straßenbauprojekte. Dabei werden dem Leser zuerst wichtige Grundlagen vermittelt und der Stand der Forschung beziehungsweise Stand der Technik als Status Quo betrachtet und eine Analyse für ausgewählte AIAs aus der Praxis durchgeführt. Im Anschluss soll, aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen, eine Muster-AIA für Straßenbauprojekte formuliert werden. Abschließend werden die Antwortmöglichkeiten eines Unternehmens auf eine AIA betrachtet.

3.1 Grundlagen

3.1.1 Begriffsbestimmung und vertragliche Einordnung

Die *Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)* sind das „Dokument[,] in dem der Auftraggeber die für ihn relevanten Ziele und Anwendungen und vom Auftragnehmer geforderten Leistungen und Daten beschreibt“ (VDI 2552 Blatt 2 Entwurf, S. 3). Als Synonym finden sich in der Literatur teilweise die Begriffe *BIM-Vorgaben* oder *BIM-Pflichtenheft* (Baldwin 2018), der englische Begriff lautet *Employer's Information Requirements (EIR)*.

Vertraglich stellen die AIA „üblicherweise [einen] Teil des Vertragswerkes zwischen [sic!] Auftraggeber und Auftragnehmer“ (Baldwin 2018, S. 14) dar. Sie sind aufgrund ihres leistungsdefinierenden Charakters „Bestandteil der Ausschreibung“ (ARGE BIM4INFRA2020 Stand: 2017, S. 18), demzufolge muss deren Erstellung frühzeitig abgeschlossen sein. Wie in *Abschnitt 2.2.2 BIM-Dokumente* bereits kurz dargestellt, wird im Projektverlauf ein BAP erstellt, dem die AIA in der vertraglichen Geltungsreihenfolge übergeordnet sind.

Der AHO stellt grundsätzlich eine Vereinbarkeit von HOAI und BIM und damit implizit auch von HOAI und den AIA fest. Förderlich hierfür ist die Tatsache, dass in der HOAI keine feste Methode der Planungsdurchführung konstatiert wurde und damit die grundsätzliche Leistungserbringung mittels BIM, deren Inhalte die AIA bestimmen, erfolgen kann (AHO 2019). Als Voraussetzung hierfür fordert der VBI im *BIM-Leitfaden für die*

Planerpraxis dass in den AIA „neben den Zielen alle honorarrelevanten Informationen [...] enthalten sein“ (VBI 2016, S. 7) müssen.

3.1.2 Hierarchie der Informationsanforderungen nach ISO 19650

Die DIN EN ISO 19650-1:2019-08 beschreibt die in Abbildung 11 dargestellte Konstellation der unterschiedlichen Informationsanforderungen und den daraus hervorgehenden Informationsmodellen, als „Hierarchie der Informationsanforderungen“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18).

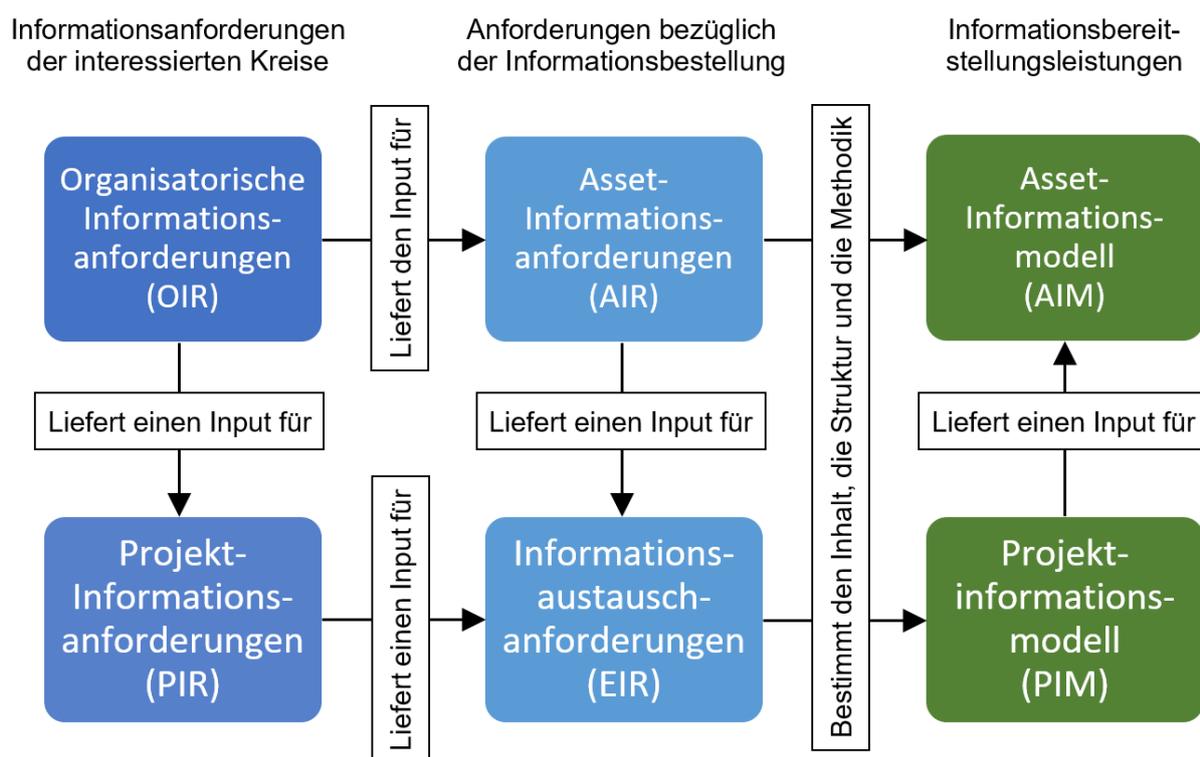


Abbildung 11: Hierarchie der Informationsanforderungen und Informationsmodelle (Quelle: DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18)

An oberster Stelle stehen dabei die *Organisatorischen Informationsanforderungen (OIR)*, die sich unmittelbar aus den, durch den Unternehmens- bzw. Organisationszweck verfolgten, strategischen Zielen des Auftraggebers ergeben. Dazu zählen beispielsweise die Geschäftsstrategie der Organisation im Allgemeinen oder die Strategie der BIM-Einführung und -Arbeitsweise innerhalb der Organisation im Speziellen. (DIN EN ISO 19650-1:2019-08)

Die OIR implizieren unmittelbar die *Asset-Informationsanforderungen (AIR)*, also die Anforderungen in betriebswirtschaftlicher, kaufmännischer und technischer Hinsicht bei „der Erstellung von Informationen für das Asset“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18). Dazu zählen beispielsweise Anforderungen an Informationen über

Wartungszyklen für das Asset oder an Informationen, die für Bestandsdatenbanken und für die Erstellung des Asset-Informationsmodells benötigt werden.

Die *Projekt-Informationsanforderungen (PIR)* enthalten Anforderungen an die Informationen für ein konkretes Projekt und beruhen teilweise auf den OIR. Dabei können die PIR viele Inhalte der OIR aufgreifen und/oder projektspezifischer formuliert sein. Eine Organisation kann eine PIR aufstellen, die dann für alle Projekte verändert oder unverändert angewendet werden soll (Muster-PIR). (DIN EN ISO 19650-1:2019-08)

Die *Austausch-Informationsanforderungen (EIR)* definieren die Anforderungen an den Informationsaustausch in betriebswirtschaftlicher, kaufmännischer und technischer Hinsicht bei „der Erstellung von Projektinformationen“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 19). Dazu zählen beispielsweise Anforderungen an BIM-Modelle, die für bestimmte Anwendungsfälle benötigt werden und deren Übergabe an andere Projektbeteiligte. Bestimmt werden die Inhalte der EIR durch den gelieferten Input der PIR und der AIR. Die EIR legen „den Inhalt, die Struktur und die Methodik“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18) des *Projekt-Informationsmodells (PIM)* durch die gestellten Anforderungen fest und unterstützen somit die Projektdurchführung. Die DIN EN ISO 19650-1:2019-08 empfiehlt die Archivierung des PIM nach Fertigstellung des Projekts.

Analog bestimmen die AIR „den Inhalt, die Struktur und die Methodik“ (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 18) des *Asset-Informationsmodells (AIM)*. Die Inhalte des Projekt-Informationsmodells liefern zur Unterstützung des Asset-Managements ebenfalls einen Input für das AIM, so können Teile der während der Planung erzeugten Informationen aus dem PIM in das AIM übernommen werden.

Erst durch Formulierung der Informationsanforderungen ist der Auftragnehmer in der Lage, die Informationen zu erstellen, die die Organisation als Informationsbesteller zur Erfüllung der organisatorischen Ziele einerseits und der Projektziele andererseits benötigt. Dabei ist auch entscheidend, dass die Organisation als Auftraggeber und Informationsbesteller entsprechendes Know-how und die notwendige Qualifikation zur Erstellung der Informationsanforderungen besitzt oder sich andernfalls extern beraten lässt. (DIN EN ISO 19650-1:2019-08; Baldwin 2018)

3.1.3 Inhalt der AIA

Durch die AIA erfolgt durch den Auftraggeber die Festlegung des Leistungssolls im Rahmen der BIM-Methode, indem beschrieben wird, was (welche Daten, welche

Informationen) wann zu liefern ist. Auch werden die Fragen beantwortet, warum welche Information wann benötigt wird und wer diese Information wie und wo bereitstellt (vgl. AHO 2019, S. 12).

Die Abgrenzung zum BIM-Abwicklungsplan soll entsprechend der ARGE BIM4INFRA2020 folgenderweise stattfinden: In den AIA erfolgt die inhaltliche Beschreibung der Anforderungen des Auftraggebers für die BIM-Projektentwicklung. Im Unterschied dazu wird im BAP, mit den Anforderungen aus den AIA als Rahmen, festgelegt, welche Mittel und Methoden eingesetzt werden, um die Projektziele zu erreichen (ARGE BIM4INFRA2020 2019d). Dies ermöglicht, die AIA als unveränderbare Vertragsgrundlage zu platzieren, während durch den BAP als fortschreibbares Dokument nach Vertragsschluss weiterhin die Möglichkeit gegeben ist, bei Bedarf zusätzliche Vereinbarungen zwischen AG und AN zu treffen.

An die Inhalte der AIA stellt der AHO folgende Mindestanforderungen (AHO 2019, S. 12):

- Beschreibung der BIM-Ziele
- Beschreibung der Anforderungen an den Bieter bzgl. Kapazitäten und Kompetenzen des Projektteams (Wissen oder Fähigkeiten)
- BIM-Anforderungen des Betreibers
- Definition der Aufgaben und Verantwortlichkeiten

Dabei wird der Inhalt der AIA als eine Beschreibung des - vom AN geschuldeten - Leistungserfolgs gesehen. Der Leistungsumfang, der letztendlich zum Erfolg führt, muss für jede betreffende Projektphase der HOAI und dem damit „verbundenen Informationsaustausch konkret, messbar, realistisch und terminbezogen definiert werden“ (AHO 2019, S. 12).

Die Beschreibung des Leistungssolls in Form der BIM-Modelle als digitale Liefergegenstände, kann in der AIA auf drei verschiedene Arten geschehen (vgl. ARGE BIM4INFRA2020 2019d, S. 7):

- Funktionale Beschreibung, implizite Vorgaben durch Beschreibung der Aufgaben und Funktionen der Modelle
- Semi-detaillierte Beschreibung, implizite Vorgaben durch Beschreibung der Aufgaben und Funktionen der Modelle, zusätzlich kann der AG für bestimmte Modelle bzw. Modellelemente detaillierte Vorgaben treffen

- Detaillierte Beschreibung, umfangreiche Festlegung aller zu liefernden Ausarbeitungsgrade mit Anlagen zur Definition von Objekttypen, Klassifikationen, Attribuierung und Vorgaben zur geometrischen Detaillierung

Eine umfassende Definition als Zusammenfassung der oben genannten Punkte findet sich bei buildingSMART e. V.. Dort verstehen sich die AIA als der „Informationsbedarf des Auftraggebers, der als Anforderung an den Auftragnehmer beschrieben wird. Die Auftraggeber-Informationsanforderungen definieren, wann, in welchem geometrischen und alphanumerischen Detaillierungsgrad, in welchem Format, für welchen BIM-Anwendungsfall und von welchem Planer die geforderten Daten geliefert werden sollen, um die Ziele des Auftraggebers zu erreichen“ (buildingSMART e. V. 2017). Eine detaillierte Zusammenstellung der Inhalte von AIAs findet sich in *Abschnitt 3.3* im Rahmen der Erstellung einer *Erstellung einer Muster-AIA* für Straßenbauprojekte.

3.1.4 Übersicht aus E DIN EN 17412:2019-07

Im Folgenden soll der Vollständigkeit halber der Entwurf der E DIN EN 17412:2019-07 in Abbildung 12 kurz vorgestellt werden, da dieser einen Überblick über die bereits vorgestellten Inhalte und den, in Kapitel 4.1.1 vorgestellten Levels of Information Need (LOIN) ermöglicht und durch die zukünftige Einführung des Norm-Entwurfs (in möglicherweise abgewandelter Form) relevant wird. Die Darstellung erfolgt stark vereinfacht und ohne Nennung zugehöriger Regelwerke. Für weitergehende Informationen wird auf den Entwurf der E DIN EN 17412:2019-07 verwiesen.

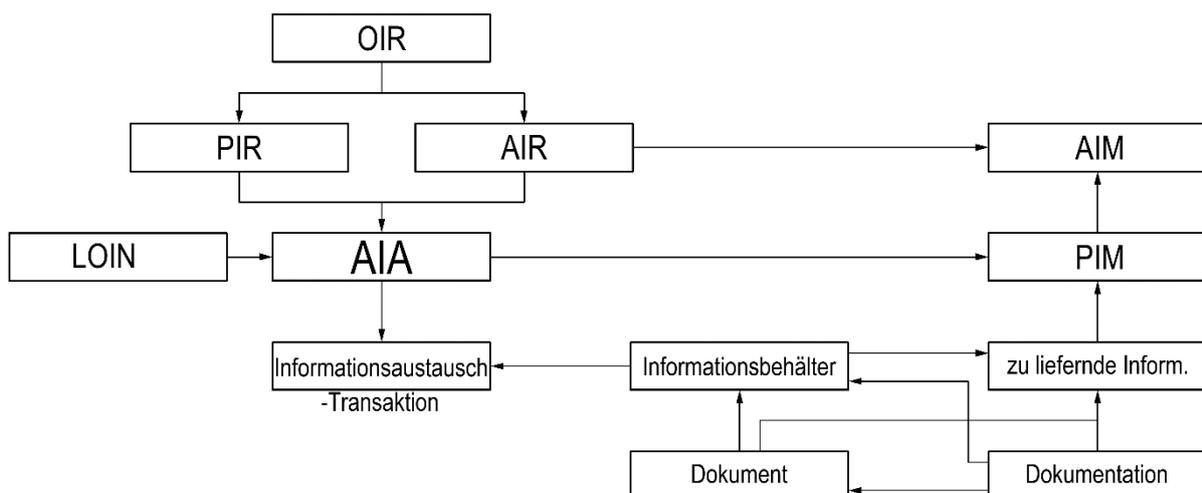


Abbildung 12: Überblick über AIA und Informationsflüsse (Quelle: reduziert und bearbeitet aus E DIN EN 17412:2019-07, S. 22)

Erkennbar sind der direkte Informationsfluss von den LOIN zu den AIA als zusätzliche Informationsquelle auf der linken Seite und die verschachtelten Informationsflüsse der

Dokumentation, die ihrerseits in Abschnitt 4.1.4 vorgestellt wird, auf der linken Seite. Das AIM stellt die Senke des Informationsflusses dar.

3.2 Status Quo

Die Bestimmung des Status Quo für AIAs soll zuerst durch die Untersuchung veröffentlichter Muster-AIAs erfolgen, anschließend sollen existierende, projektspezifische AIAs analysiert und verglichen werden.

3.2.1 Muster-AIAs

Zur Analyse wurden insgesamt sechs Muster-AIAs identifiziert, davon drei Stück aus Großbritannien, eine aus Nordirland und zwei aus Deutschland, aufgeführt in untenstehender Tabelle 3 mit Jahresangabe und Seitenzahl zur überblicksweisen Abschätzung des Umfangs; diesem darf jedoch aufgrund zahlreicher Verweisungen oder Anhänge keine allzu große Bedeutung beigemessen werden.

Tabelle 3: Übersicht der Muster-AIAs (Quelle: eigene Darstellung)

	ProCure22	DOF	CDBB	BIFM	BIM4INFRA	DEGES
Land	GBR	IRL	GBR	GBR	DEU	DEU
Jahr	2018	2018	2017	2017	2019	2019
Seitenzahl	51	87	20	68	12	32

Die englischsprachigen Exemplare sind eher auf den Hochbau fokussiert und verweisen auf das BIM Level 2 (siehe Abschnitt 2.3.3) als zu erreichenden Standard. Die deutschen Exemplare stammen beide aus dem Infrastrukturbereich und weisen daher einen engen Zusammenhang mit dem Stufenplan des BMVI auf und werden dahingehend eingestuft, das Leistungsniveau 1 (siehe Abschnitte 2.3.1 und 2.3.2) anzupeilen. Nachfolgend wird den Herausgebern der Muster-AIAs eine Abkürzung zur besseren Lesbarkeit des Textes vergeben, wie sie anschließend in Tabelle 4 verwendet wird:

- ProCure22 als Beschaffer von Bauleistungen des Ministerium für Gesundheit und Soziales in Großbritannien (ProCure22 (2018), Abkürzung der Muster-AIA nachfolgend M1)
- Finanzministerium (Department of Finance, DOF) von Nordirland (Department of Finance (DoF) 2018, M2)
- Centre for Digital Built Britain (CDBB), eine von der britischen Regierung finanzierte Organisation (Centre for Digital Built Britain (CDBB) 2017, M3)

- British Institute of Facilities Management (BIFM), inzwischen Institute of Workplace and Facilities Management (IWFM) (British Institute of Facilities Management (BIFM) 2017, M4)
- ARGE BIM4INFRA (ARGE BIM4INFRA2020 2019d, M5)
- Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) (DEGES 2019b, M6)

Tabelle 4: Inhalte der Muster-AIAs (Quelle: eigene Darstellung)

	ProCure22 M1	DOF M2	CDBB M3	BIFM M4	BIM4INFRA M5	DEGES M6
Plain Language Questions (PLQs) verwendet	J	J	J	J	N	N
BIM-Ziele und Nutzen	J	J	J	J	JN	J
Bezug auf AWF	J	J	N	N	J	J
Detaillierung der AWF	N	N	N	N	J	J
Lieferung digitaler Grundlagen (durch AG)	N	N	N	N	J	J
Koordinatensystem gefordert	J	J	J	J	J	J
Teilmodellstruktur beschrieben	N	J	J	J	N	J
Klassifikation der Modellelemente	J	J	N	J	J	N
geometrische Ausarbeitungsgrade, LOG	J	J	J	J	J	J
semantische Detaillierungsgrade, LOI	J	J	J	J	J	J
Genauigkeit, Level of Accuracy (LOA)	N	N	JN	J	N	J
Vorgaben zu Attributen	J	J	N	JN	N	N
Modellstrukturschlüssel	N	J	J	N	J	N
Bauteillisten/Modellelementlisten	J	J	N	N	N	N
COBie-Vorgaben (Attribute etc.)	J	J	J	J	N	N
Modellierungsvorschriften/-richtlinie	N	N	N	N	J	J
Model Production and Delivery Table (MPDT)	J	J	J	J	N	N
Master Information Delivery Plan (MIDP)	J	J	J	J	J	J
Datenübergabepunkte	J	J	J	J	N	N
Strategie der Zusammenarbeit	J	J	J	J	J	J
Namenskonvention für Daten	J	J	J	JN	JN	N
Vorgaben zum Workflow	N	JN	N	JN	N	N
Modellkoordination und Kollisionsprüfung	J	J	J	J	J	J
Common Data Environment gefordert	J	J	J	J	J	J
Software frei wählbar	J	J	J	J	J	J
Datenaustauschformate definiert	J	J	J	J	J	J
offene Datenformate gefordert	J	J	J	J	J	J
Dateigrößenlimit beschrieben	J	J	J	J	N	N
Einheiten festgelegt	N	N	N	N	J	J
Datensicherheit/Geheimhaltungsstufen	J	J	J	J	JN	JN
Sicherheits- & Gesundheitskoordinierung	J	J	J	J	N	N
Qualitätssicherung/ -kontrolle gefordert	J	J	J	J	J	J
Weiterbildung, Schulung empfohlen	J	J	J	J	JN	N
Rollen und Verantwortlichkeiten	J	J	J	J	J	J
BAP-Anforderungen formuliert	J	J	J	J	JN	J
Fähigkeitsnachweis AN gefordert	J	J	J	J	J	J
Anwendbare Normen (Liste)	J	J	J	J	N	J
Glossar beigelegt	J	J	N	J	JN	J
LOG Anforderungen (Anhang)	J	J	N	J	N	N
LOI Anforderungen (Anhang)	J	J	N	J	N	N
vorhanden	J					
nicht vorhanden	N					
teilweise/unvollständig vorhanden	JN					

Die Struktur und der allgemeine Aufbau der Musterexemplare im Vergleich zueinander ist weisen große Unterschiede auf, die Inhalte beziehungsweise Themenblöcke je nach Herkunftsland sind hingegen relativ ähnlich. Obige Tabelle 4 führt die einzelnen Punkte auf, auf deren Inhalt hin die Muster-AIAs untersucht wurden. Die Punkte wurden ausgewählt, indem eine möglichst vollständige Auflistung aller inhaltlichen Bausteine der verschiedenen AIAs erfolgte und anschließend doppelt genannte Bausteine gelöscht wurden. Insbesondere konnten dabei folgende Inhalte gehäuft identifiziert werden:

- Plain Language Questions (PLQs) sind Fragen, die aus AG-Sicht in jeder Projektphase beantwortet werden sollen. Dabei ermöglichen die Antworten das fundierte Treffen von wichtigen Entscheidungen, beispielsweise, ob ein Projekt in die nächste Phase übergehen kann. Die PQLs können bei der Erstellung einer AIA als Grundlage dienen. (McPartland 2017)
- Im Model Production Delivery Table (MPDT) werden die Anforderungen an die Modellelemente (LODs), die Lieferzeitpunkte in den Leistungsphasen und der jeweils Verantwortliche festgehalten. Der MPDT wird kontinuierlich auf dem aktuellsten Stand gehalten. (ProCure22 2018)
- Modellstruktur und -inhalte umfassen unter anderem das Koordinatensystem, die Teilmodellstruktur, Modellelementtypen (Klassifikation, Ausarbeitungsgrad und Attribute), den Modellstrukturschlüssel und Dateinamenskonventionen (Borrmann 28.09.2019). Diese sollten bestenfalls durch den AG als ein Modellierungsstandard projektübergreifend erstellt werden (ARGE BIM4INFRA2020 2019d). Ähnliche Inhalte wurden in M1 bis M4 unter *Planning the Work and Data Segregation* beschrieben; unter anderem die Festlegung einer Namenskonvention, erfolgt teilweise in der AIA und wird andernfalls für den BAP gefordert.
- Als Klassifikation wird die eindeutige Kennzeichnung der Modellelemente nach ihrem Modellelement-Typ (auch Bauteil-Typ oder Objekt-Typ) bezeichnet (Borrmann 28.09.2019).
- Der Modellstrukturschlüssel wird für alle Modellelemente im Projekt erstellt, indem er durch einzelne Attribute für jede Ebene im Projekt die Stellung des Modellelements in der Projekthierarchie zeigt. (Borrmann 28.09.2019)
- Aufforderung zur Erstellung des Master Information Delivery Plans (MIDP, siehe Kapitel 2.2.2) im BAP durch den AN

Keines der Dokumente war maschinenlesbar. Alle Muster forderten vom Nutzer der Vorlage, eine Beschreibung des Projekts zu verfassen und/oder die Anwendung von BIM im Projekt zu beschreiben. Ebenso war allen Exemplaren die grundsätzliche Ausrichtung an die landesüblichen Leistungsphasen gemein, die HOAI in Deutschland und die RIBA im englischsprachigen Raum. Unterschiedlich gestaltet sich die Rolle der BIM-Anwendungsfälle. Während die deutschen M5 und M6 die AWF in den Vordergrund rücken, werden von den übrigen M1 bis M4 allenfalls manche AWF erwähnt. Ebenso verhält es sich für die Punkte Modellierungsvorschriften und Beschreibung von digitalen Grundlagen, die in der Lieferschuld des AG stehen.

Der Austausch von Daten mittels offener Datenformate wird durchwegs von allen Herausgebern präferiert, eine Übersicht hierzu stellt Tabelle 5 dar. Bis auf ein Exemplar der untersuchten Muster-AIAs forderten alle die IFC als offenes Datenaustauschformat.

Tabelle 5: In Muster-AIAs geforderte Formate für den Datenaustausch (Quelle: eigene Darstellung)

Datenformat	ProCure22	DOF	CDBB	BIFM	BIM4INFRA	DEGES
IFC	2x3	2x3		2x3	4.1	eingeschränkt
BCF					2.1	eingeschränkt
GAEB-XML X31					3.2	ja
PDF	ja	ja	ja	ja		
COBie	ja	2.3	2.4	ja		
proprietär, nativ	ja	ja	ja	ja		ja
CSV					ja	
OKSTRA						ja
cpiXML						ja
NWC	ja					
weitere						ja

Eine Ausnahme hierbei bildet das CDBB (M3), welches das IFC-Schema zwar am Rande erwähnt, jedoch keine Verwendung festlegt. Eingeschränkt wird die Verwendung im AIA-Muster der DEGES (M6), da diese für IFC und BCF aktuell die Fähigkeit zur Beschreibung von Infrastrukturprojekten als nicht vollständig erachtet (DEGES 2019b). Auffällig ist auch die Verwendung des COBie-Standards (Construction Operations Building Information Exchange (COBie)), als Standard im Bereich des Facility Managements (Nisbet und East 2019), im englischsprachigen Raum (M1 bis M4) im Vergleich zu beiden deutschsprachigen Muster-AIAs, die Vermutung liegt nahe, dass dies durch die geringe Anwendbarkeit im Infrastrukturbereich bedingt ist.

An den BAP, als Antwort der Unternehmen auf die AIA und Bestandteil des Angebots, werden von allen Muster-AIAs Anforderungen formuliert, beispielsweise ein Fähigkeitsnachweis des planenden Unternehmens. Im Rahmen von Vorgaben zu Namenskonventionen für Dateien oder maximalen Dateigrößen machten M1 bis M4 konkretere Aussagen, M5 und M6 überließen hier dem AN im BAP den Vorschlag.

3.2.2 Analyse ausgewählter AIAs

Die in diesem Abschnitt betrachteten AIAs stammen allesamt aus realen Infrastrukturprojekten, die Auftraggeber sind öffentliche Bauherren. Aus Datenschutzgründen werden die AIAs im Folgenden durch die Abkürzungen A1 bis A4 benannt.

Tabelle 6 stellt die detaillierten Ergebnisse der Analyse dar, die AIAs sind dabei chronologisch sortiert, beginnend mit A1 aus dem Jahre 2017.

Tabelle 6: Analyse der AIAs für Infrastrukturprojekte (Quelle: eigene Darstellung)

	A1	A2	A3	A4
Jahr	2017	2018	2019	2019
BIM-Ziele (Stückzahl)	6	8	8	9
Angaben zu Betrieb	J	J	N	J
Bauliche Erhaltung	N	J	N	J
Anforderungen an As-Built-/Betreibermodell	J	N	N	J
Projektbeschreibung	N	J	J	J
Projektmeilensteine angegeben	N	J	JN	J
BIM-Einsatz in LPH	5 + 8	3 + 6	3 + 4 + 6	5 + 8
LPH (Stückzahl)	2	2	3	2
Vorgesehene AWF (Stückzahl)	11	6	9	5
AWF detailliert beschrieben	J	JN	J	JN
Teil-/Fachmodelle beschrieben	J	J	J	J
Ausarbeitungsgrade (LODs)	J	J	J	J
Klassifikation und Attribute	N	J	J	J
Modellstrukturschlüssel	N	J	J	J
Typ- und Attributtabelle	N	J	J	J
Koordinatensysteme	J	J	J	J
Modellierungsvorschriften	J	J	J	J
Rollen und Verantwortlichkeiten	J	J	J	J
Common Data Environment	N	N	J	N
Qualitätsmanagement	J	J	J	J
Digitale Grundlagen durch AG	N	J	J	J
Softwareeinsatz beschrieben	J	J	J	J
Datenaustauschformate	J	J	J	J
Datenübergabepunkte	N	N	J	J
Modellelement-/Bauteiltabelle	J	J	J	J
Anforderungen an BAP	J	J	J	J
vorhanden	J			
nicht vorhanden	N			
teilweise/unvollständig vorhanden	JN			

Ähnlich zur Untersuchung der Muster-AIAs lässt sich feststellen, dass sich der Aufbau der Dokumente nach jeweiligem Auftraggeber unterscheidet, inhaltlich aber viele Parallelen gezogen werden können.

Bis auf A3 führen alle AIAs Angaben zum Betrieb des Infrastrukturbauwerks auf, A2 und A4 erwähnen dabei auch dessen bauliche Erhaltung. A1 und A2 formulieren daraus Anforderungen an ein As-Built-Modell beziehungsweise darüber hinaus an das Betriebsmodell.

Die untersuchten AIAs beziehen sich auf zwei oder drei Leistungsphasen, Schwerpunkte sind Planung des Entwurfs und der Ausführung und die Ausführung selbst. Dabei legen A1 und A3 mit 11 bzw. 9 durchzuführenden Anwendungsfällen den größten Umfang fest, A2 und A4 einen geringeren Umfang mit 6 bzw. 5 AWF.

Modellstruktur und Modellinhalte werden detailliert beschrieben, Ausnahme bildet hier A1, die für Klassifikation, Modellstrukturschlüssel und Attribute sehr wenige bis keine Anforderungen in den AIA festlegen. Erforderliche Ausarbeitungsgrade werden durch alle AIAs beschrieben, für A1 erfolgt dies in einem Anhang.

Im Rahmen der Zusammenarbeit werden in allen AIAs die Rollen der Projektbeteiligten, sowie Qualitätsmanagement oder -kontrolle umfangreich bestimmt. Für die CDE allerdings trifft nur A3 spezielle Anforderungen, A2 und A4 fordern die Datenübergabe per E-Mail und A1 enthält keine Angaben. Zeitliche Vorgaben für die Datenübergaben zu bestimmten Meilensteinen treffen nur A3 und A4.

Keine der AIAs schreibt die Verwendung einer bestimmten Software fest und alle bekennen sich grundsätzlich zu offenen Austauschformaten. A1 beschreibt detailliert die Anforderungen, die die Software des AN zu erfüllen hat. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die jeweils vorgeschriebenen Formate für den Datenaustausch.

Tabelle 7: Datenaustauschformate der AIAs (Quelle: eigene Darstellung)

	A1	A2	A3	A4
IFC	X	X	X	X
OKSTRA	X			
REB DA 45, 49, 58	X			
GAEB-XML	X	X	X	X
native Formate Modell	X	X	X	X
allg. Videoformat Bauablaufsimulation	X	X	X	X
PDF, DWG, DXF		X	X	X
cpiXML		X		X
BIM-LV-Container	X			

Alle AIAs fordern, zusätzlich zur Lieferung des Modells als IFC-Datenmodell, die Bereitstellung der Daten aus der spezifischen Software des Planers, geben diese jedoch im Sinne des Urheberschutzes nicht ohne Zustimmung des Planungsunternehmens an Dritte weiter.

A1 bis A4 machen an mehreren Stellen der AIAs konkrete Angaben zu Anforderungen an den BAP und dessen Inhalte, die der Auftragnehmer besonders zu berücksichtigen hat. Nähere Angaben finden sich hierzu im Abschnitt 3.4.

3.2.3 Fazit

Die Muster-AIAs weisen zueinander ähnliche Inhalte auf. Alle Muster-AIAs formulieren mögliche BIM-Ziele und stellen Ausarbeitungsgrade für Modellelemente vor. Die Ausrichtung der M1 bis M4 auf das BIM Level 2 und M5 mit M6 auf das Leistungsniveau 1 zeigt sich insbesondere durch die Forderung einer CDE für alle Exemplare und den Forderungen nach offenen Datenaustauschformaten.

Die deutschsprachigen Exemplare beziehen sich deutlich stärker auf Anwendungsfälle und definieren manche Details, wie beispielsweise Einheiten der Attribute, die im englischsprachigen Raum in den Mustern keine Beachtung finden. Ein zentraler Unterschied findet sich in der Verwendung der Plain Language Questions (PLQs) für die M1 bis M4 im Gegensatz zu M5 und M6. Diese können als *Quality Gate* zur Qualitätskontrolle verwendet werden, indem sie bei unzureichender Beantwortung den Übergang in die nächste Leistungsphase verhindern. Dieser Mechanismus findet bei M5 und M6 keine Beachtung und birgt für den deutschsprachigen Raum sicherlich Potential zur Adaption.

Für die betrachteten AIAs aus der Praxis lässt sich zusammenfassen, dass die M1 als ältestes Exemplar, im Vergleich zu den übrigen Dokumenten, mehrere Inhalte vermissen lässt, beispielsweise Anforderungen an einen Modellstrukturschlüssel. Darin könnte ein Anzeichen einer Entwicklung durch Zuwachs an Erfahrung liegen, hier muss jedoch festgehalten werden, dass die Stichprobe an untersuchten AIAs zu gering ist, um belastbare Rückschlüsse ziehen zu können.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen, sowohl Muster-AIAs, als auch AIAs aus der Praxis, begründen sich teilweise auch in der Entscheidung des AGs, welche Inhalte dieser in den BAP und damit in die Sphäre des AN verschieben möchte.

Der Status Quo für AIAs kann, bezogen auf das Ziel des Stufenplans beziehungsweise des BIM Level 2, insgesamt als fortgeschritten bezeichnet werden. Die ausreichende Festlegung von Zielen und Anforderungen, um eine stabile Vertragsgrundlage im Bereich von BIM-Projekten darzustellen, ist gegeben. Insbesondere für deutsche Auftraggeber empfiehlt sich die Aufnahme von PLQs in die (Muster-)AIAs.

3.3 Erstellung einer Muster-AIA für Straßenbauprojekte

Das Resultat der vorangegangenen Bestimmung des Status Quo und die Analyse der AIAs dienen nun als Grundlage zur Erstellung einer Muster-AIA für Straßenbauprojekte.

Zu Beginn soll die Einordnung der DIN EN ISO 19650-1:2019-08 als Unterteilung der Grundstruktur in Organisatorische-Informationsanforderungen, Asset-Informationsanforderungen und Projekt-Informationsanforderungen übernommen werden. Der Grad des Informationsbedarfs (siehe Abschnitt 4.1.1) soll in einzelne Unterpunkte mit einfließen.

Aus allen bisher vorgestellten Ansätzen und insbesondere aus den Schwerpunkten, die in den Inhalten von untersuchten AIAs aus der Praxis und den Muster-AIAs festgestellt werden konnten, ergibt sich die Muster-AIA für Straßenbauprojekte, dargestellt in Anhang E.

Der Bezug zum Straßenbau wird durch Inhalte aus dem Fachgebiet des Straßenbaus (beispielsweise Fachmodelle oder Formulierung von BIM-Zielen) hergestellt, die tatsächliche Spezifizierung der AIA erfolgt aber tatsächlich erst durch die Anpassungen des AG an das jeweilige Projekt.

3.4 Antwort eines Unternehmens auf die AIA

Im folgenden Abschnitt soll die Antwort eines Unternehmens als Reaktion auf die Auftraggeber-Informationsanforderungen betrachtet werden. Dafür werden AIA und BIM-Abwicklungsplan im Kontext der vertraglichen Gestaltungsmöglichkeiten beleuchtet und weitere Aspekte der Antwort eines Unternehmens auf die AIA vorgestellt. Die Ausführungen beziehen sich selbstverständlich auf den Fall positiven Interesses für einen Vertragsschluss auf Seiten des Auftragnehmers, da dieser ansonsten keine Antwort im eigentlichen Sinne formulieren würde.

Die Entwicklung der AIA erfolgt, wie bereits beschrieben, durch den Auftraggeber, um dessen BIM-bezogene Interessen zum Ausdruck zu bringen und ein klares Leistungsbild zu erarbeiten, das den auftraggeberseitigen Vorgaben entspricht. Dem öffentlichen Auftraggeber steht frei, „ob und in welchem Umfang“ (ARGE INFRABIM 2018, S. 20) er Spezifizierungen zum BIM-Abwicklungsplan vor Vertragsbeginn vornimmt. Dabei bilden sich für die vertragliche Konstellation zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer durch AIA und BAP insgesamt vier Möglichkeiten heraus. Eine Übersicht über die Varianten 1 bis 4 ist Abbildung 13 zu entnehmen.

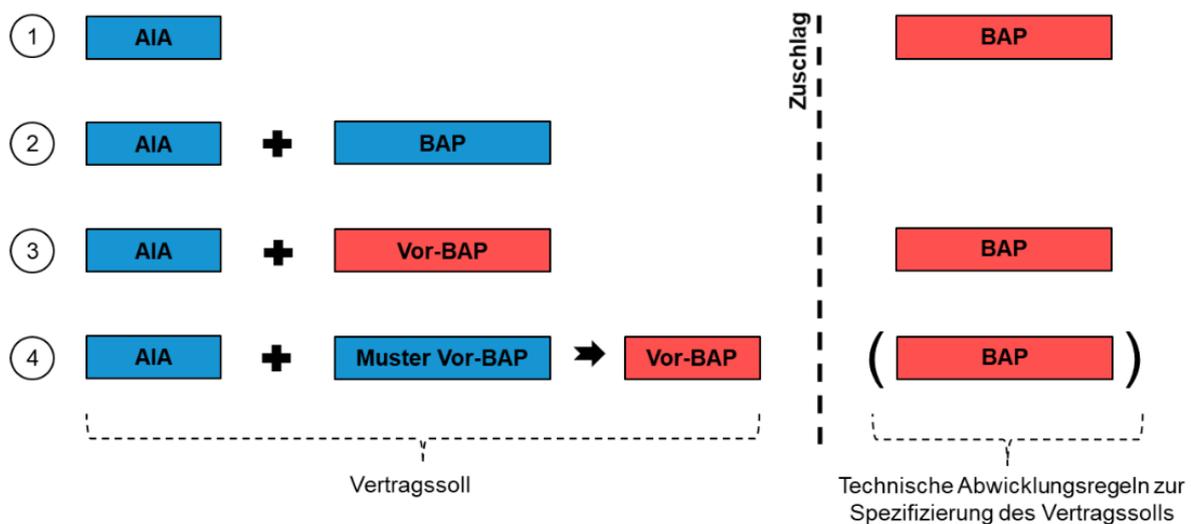


Abbildung 13: Varianten der AIA/BAP-Konstellation (blau vom AG erstellt, rot vom AN erstellt) (Quelle: ARGE INFRABIM 2018, S. 21, ursprünglich von BIM4INFRA2020)

In der ersten Variante wird vom AG lediglich eine AIA als BIM-Vertragssoll festgeschrieben. Der AN hat nach Vertragsschluss einen BAP aufzusetzen. Dieses Vorgehen kann mitunter vorteilhaft sein, wenn der AN ein Generalplaner ist, der wiederum an seine Nachunternehmer Leistungen weitervergift und daher bereits Koordinations- und (BIM-) Managementaufwand betreiben muss. (ARGE BIM4INFRA2020 2019b) Selbiges kann zutreffen, falls der AN als ARGE-Gesamtplaner auftritt, weil auch hier die Koordination beim AN stattfindet.

Als zweite Variante besteht die Möglichkeit, sowohl AIA, als auch BAP vollumfänglich aufzusetzen und als Angebotsgrundlage zum Vertragssoll zu definieren. Die ARGE BIM4INFRA2020 (2019b) sieht hierbei als Notwendigkeit, dass die BIM-Methode durch Regelwerke und durch Erfahrungswerte einem deutlich fortgeschrittenen Stand der Technik entspricht. Somit ist diese Konstellation relevant für zukünftige Projekte aber aktuell noch schwer realisierbar.

In Variante drei geben die Bieter als Antwort eine vorläufige Fassung des BAP (bezeichnet als Vor-BAP) ab. Darin beschreibt der Bieter seine Anstrengungen und Konzepte zur Umsetzung der Ansprüche aus der AIA. Diese Methode bietet sich insbesondere an, wenn der Auftraggeber geringe Kompetenzen im Umgang mit der BIM-Methode hat, da dieses Vorgehen in diesem Fall wirtschaftlicher wäre und gleichzeitig damit weniger Risiken für den AG einhergehen. Die Vergabe auf der Grundlage eines Vor-BAPs kann, im Gegensatz zu Variante zwei, bei der ein reiner Preiswettbewerb betrieben wird, die qualitative Wertung der Angebote ermöglichen. (ARGE BIM4INFRA2020 2019b)

Die vierte und letzte Variante basiert auf Variante drei und fordert neben der AIA nicht die Erstellung eines Vor-BAP „von Null an“, sondern ermöglicht dem AN mittels eines, vom AG vorgelegten, Muster-Vor-BAPs eine klare Einschätzung von erwartetem Inhalt und Umfang des Vor-BAPs zu erlangen. Dies birgt für den AG den Vorteil der besseren Vergleichbarkeit der Angebote zueinander, da die abgegebenen Vor-BAPs gleich strukturiert sind. (ARGE BIM4INFRA2020 2019b)

Bei der Erstellung des BAP gibt die AIA stets den Rahmen und das Ziel vor, in dem und zu dem sich der Auftragnehmer mit seinen Ausführungen orientieren muss. Dabei werden im BAP Fragen beantwortet, die der AG offengelassen hat. Der BAP versucht grundsätzlich keine Inhalte aus der AIA zu wiederholen, da sich beide Dokumente sonst in Teilen überschneiden würden, was die Zuordenbarkeit der Informationen erschwert. Je nach Konstellation kann nach erfolgtem Zuschlag für den AN bei Bedarf die Fortschreibung des BAP erfolgen.

Das Unternehmen muss je nach Anforderungen der AIA versuchen, den Vor-BAP mit vertretbarem Aufwand und in geforderter Tiefe zu erstellen. Dabei stellt ein höherer Grad der Standardisierung und Entwicklung von Muster-AIAs eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit für den Auftragnehmer dar und legt den Grundstein dafür, dass die grundsätzliche Zusammenarbeit nach Vertragsschluss partnerschaftlich und kooperativ verläuft (ARGE INFRABIM 2018).

3.5 Fazit

Die AIA stellen in ihrer Aufgabe als Beschreibung der Ziele und Rahmenbedingungen des BIM-Einsatzes im Projekt eine bedeutsame Vertragsgrundlage dar. Daraus ergibt sich die Forderung, diese Unterlage möglichst unverändert zu belassen und etwaige

Anpassungen im Leistungsbild über den BAP abzubilden. Die Inhalte umfassen quantifizierbare Informationen und sind in ihren Anforderungen im Idealfall auf den Betrieb des Straßenbauwerks ausgerichtet, woraus die Anforderungen für die Bereitstellung (Planung und Bau) abgeleitet werden.

Bestehende Muster orientieren sich stark an den landesüblichen Leistungsphasen und ermöglichen im Großen und Ganzen in ihrer derzeitigen Form das Erreichen des Leistungsniveau 1 des Stufenplans. In der Erweiterung der inländischen Muster-AIAs um PLQs wird die Möglichkeit zur Verbesserung der Qualitätskontrolle im Projekt gesehen. Die untersuchten AIAs realer Projekte beschränken sich bisher auf zwei bis drei Leistungsphasen und variieren zwischen fünf und elf verwendeten Anwendungsfällen, die Umsetzung für die Praxis ist also ausbaufähig und vor allem die durchgängige Implementierung über alle Projektphasen steht noch aus.

Die erstellte Muster-AIA für Straßenbauprojekte versucht den Erfahrungen aus der Praxis und den angestellten Vergleichen verschiedener Muster Rechnung zu tragen und greift diese inhaltlich und strukturell auf. Insbesondere findet die angesprochene Erweiterung um die PLQs als Quality Gates statt.

Die Antwort eines Unternehmens auf eine AIA erfolgt nach derzeitigem Status Quo durch den BAP. Der BAP kann dem Auftraggeber als Vor-BAP zur Bewertung der Fähigkeiten des Unternehmens dienen und somit als qualitative Gewichtungsmöglichkeit im Vergabeprozess. Erstellt der AG zusätzlich zur AIA den BAP, steht der Preiswettbewerb im Vordergrund. Im BAP selbst beschreibt das Unternehmen die Umsetzung der Vorgaben, die sich aus den AIA ergeben.

4 Levels of Development (LODs) für Straßenbauprojekte

Die Motivation für die Einführung von Detaillierungsgraden (Levels of Development) für Modelle beziehungsweise Modellelemente beruht auf mehreren Faktoren. Zum einen werden für die Ausarbeitung von Modellinhalten objektive Stufen vorgegeben und dadurch die Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten stark verbessert (ARGE BIM4INFRA2020 2019g). Zum anderen kann unklar sein, welche Information verlässlich aus einem Modell abgeleitet oder extrahiert werden kann. Dafür liefern die Detaillierungsgrade Anhaltspunkte, um insbesondere in Verbindung mit den Anwendungsfällen für Einheitlichkeit zu sorgen. (Fehrenbach und Jaud 2019)

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Levels of Development betrachtet, anschließend werden bereits existierende LOD-Konzepte für Straßenbauprojekte eingehend untersucht. Darauf aufbauend erfolgt am Ende dieses Kapitels der Vorschlag eines LOD-Konzepts für Straßenbauprojekte in verschiedenen Leistungsphasen und für Wie-Gebaut-Modelle.

4.1 Grundlagen

4.1.1 Level of Development (LOD)

Nach einer Definition des American Institute of Architects (AIA) (2013a) wird der *Level of Development (LOD)* beschrieben als „the minimum dimensional, spatial, quantitative, qualitative, and other data included in a Model Element to support the Authorized Uses associated with such LOD“ (American Institute of Architects (AIA) 2013a, S. 2). Damit wird das einzelne Element eines BIM-Modells als der Bezugsgegenstand der LODs in den Vordergrund gestellt. Ebenso wird durch *Authorized Uses*, übersetzt etwa *zulässige Anwendungen*, impliziert, dass für Modelle (mit Modellelementen) verschiedener LODs manche Anwendungen zugelassen beziehungsweise sinnvoll sind und manche nicht. Der Ausarbeitungsgrad beschreibt, vergleichbar mit Maßstäben für 2D-Pläne und -Zeichnungen (Borrmann et al. 2015), verschiedene Stufen der Detaillierung in Geometrie und zusätzlicher Information.

Der Begriff des LOD wird im Deutschen unter anderem als *Modelldetaillierungsgrad (MDG)* (AHO 2019; VBI 2016), *Fertigstellungsgrad* als „Stufe der Informationstiefe“ (VDI 2552 Blatt 2 Entwurf, S. 5) oder *Ausarbeitungsgrade* (ARGE BIM4INFRA2020

2019g), die den „Geometrie- und Informationsinhalt der Modellelemente“ (VDI 2552 Blatt 4 Entwurf, S. 7) beschreiben, bezeichnet. Auch international finden sich für die Level of Development (LOD) verschiedene Bezeichnungen wie Level of Detail (LOD) oder Level of Definition (LOD) inne (Bolpagni 2016).

Eine neue Bezeichnung einführend, versucht der Entwurf der DIN EN 17412 dem Problem der Begrifflichkeiten entgegenzutreten. Durch den Begriff *Level of Information Need (LOIN)* beziehungsweise *Grad des Informationsbedarfs* soll künftig die „Granularität von ausgetauschten Informationen im Sinne von Geometrie, Information und Dokumentation“ (E DIN EN 17412:2019-07, S. 8) beschrieben werden. Die Anforderung an die *Geometrie*, *Information* und *Dokumentation* kann dabei entsprechend dem Anwendungsfall variieren (E DIN EN 17412:2019-07). Herauszuheben ist hierbei, dass zusätzlich zu den in Abschnitt 2.2.1 erwähnten geometrischen und semantischen Informationen, explizit die *Dokumentation* als dritte Sphäre des Informationsbedarfs aufgenommen wurde. Insgesamt erfolgt damit die Beschreibung des LOIN durch „den geometrischen Genauigkeitsgrad (LOG), den Informationsgrad (LOI) und die Dokumentation (DOC)“ (E DIN EN 17412:2019-07, S. 11).

Die Dokumentation wird im Abschnitt 4.1.4 der Vollständigkeit halber kurz vorgestellt, soll aber anschließend im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter aufgegriffen werden. Der Begriff LOIN stellt sich als möglicher europäisch einheitlich verwendeter Standardterminus durchaus positiv dar. So ist die nachfolgende Unterteilung des LOIN in die unterschiedlichen Informationsarten und der Dokumentation intuitiver, da an den Wort-sinn des *Level of Development* stehts die Erwartung an eine Entwicklung des Informationsgrades gekoppelt ist, die aber in Abhängigkeit zum Anwendungsfall nicht ununterbrochen gegeben ist. Zusätzlich können künftige Verwechslungen durch Verwendung des Akronyms *LOD* ausgeschlossen werden und damit ein wichtiger Schritt zu einheitlichen Begrifflichkeiten getan werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll zur Wahrung der Konsistenz weiterhin der Begriff Level of Development (LOD) verwendet werden.

Die Unterteilung des LOD erfolgt, wie in zahlreichen aktuellen Veröffentlichungen (Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (DVW e.V.) und Runder Tisch GIS e. V. 2019; ARGE BIM4INFRA2020 2019g) in den geometrischen Teil, bezeichnet als *Level of Geometry (LOG)* und in den semantischen Teil, dem *Level of Information (LOI)*. Bei kongruenter Verwendung der Akronyme LOD und LOIN,

würde dem LOD an dieser Stelle noch die *Dokumentation (DOC)* als dritter Teil hinzugefügt werden.

Nach Ansicht des BIMForum (Stand: 2019) bestimmt die Leistungsphase nicht den LOD. Vielmehr können Meilensteine und Abschlüsse von Leistungsphasen mithilfe der LODs definiert werden. Dies ist der Fall, wenn beispielsweise am Ende einer Leistungsphase eine Datenübergabe an den Auftraggeber erfolgen soll. Die Begründung für diesen Ansatz liegt einerseits in der noch in geringem Umfang vorhandenen Standardisierung der LODs für die Leistungsphasen und andererseits in der prozessual bedingten Tatsache, dass im Zuge der Modellierung innerhalb des Modells verschiedene Elemente verschiedene LODs aufweisen. Daraus abgeleitet, schließt das BIMForum die Erstellung eines sogenannten "LOD ### Modell", also ein BIM-Modell, in dem alle Elemente einen gemeinsamen LOD aufweisen, aus. (BIMForum Stand: 2019) Die Zunahme der Detaillierung kann für jedes Element unterschiedlich schnell erfolgen (American Institute of Architects (AIA) 2013b).

Die Verwendung von klaren Stufen mit klaren Ausprägungen für den Ausarbeitungsgrad, ermöglicht es dem Modell-Autor klar zu definieren, wie verlässlich die Information des erstellten BIM-Modells und dessen Elemente ist und daraus resultierend, für welche Anwendungen es verwendet werden kann. Dementsprechend erlaubt eine klare Festlegung der LOD dem Nutzer des Modells die Einschätzung, wie verlässlich die erhaltene Information im Modell ist und für welche Anwendung diese verwendet werden kann. (National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance 2015)

Das BIMForum griff die Definition der LOD des eingangs genannten AIA auf und erweiterte diese, da nach deren Ansicht zu viel Spielraum für den Anwender gegeben war. Die erweiterte Definition der Level of Development enthält fünf Stufen (LOD 100 - 400), dargestellt in Tabelle 8, zusätzlich aufgeführt ist der LOD 500.

Tabelle 8: Grundlegende LOD-Definitionen (Quelle: erstellt nach BIMForum Stand: 2019, S. 13)

LOD 100	LOD 100-Elemente sind keine geometrischen Darstellungen. Es können Informationen an andere Modellelemente angehängt werden oder Symbole verwendet werden, die die Existenz eines Bauteils, nicht aber dessen Form, Größe oder genaue Position anzeigen. Informationen über das Modellelement (d.h. Kosten pro Quadratmeter, o.Ä.) können aus anderen Modellelementen abgeleitet werden. Alle Informationen, die aus LOD 100-Elementen abgeleitet werden, sind als Näherungswerte zu betrachten.
---------	---

LOD 200	LOD 200-Elemente sind allgemeine Platzhalter. Sie können bereits als das Element, das sie repräsentieren, erkennbar sein oder ein Volumenkörper als Platzhalter sein. Nicht-geometrische Informationen können an das Modellelement angehängt werden. Alle Informationen, die aus diesen Elementen abgeleitet werden, sind als Näherungswerte zu betrachten.
LOD 300	Die Menge, Größe, Form, Lage und Ausrichtung des entworfenen Elements können direkt aus dem Modell gemessen werden, ohne auf nicht-modellierte Informationen wie Notizen oder Maßangaben zu verweisen. Nicht-geometrische Informationen können an das Modellelement angehängt werden. Der Projektursprung wird definiert und das Element wird relativ zum Projektursprung exakt positioniert.
LOD 350	Bauteile, die für die Koordination des Elements mit benachbarten oder verbundenen Elementen notwendig sind, werden modelliert. Diese Teile beinhalten Elemente wie Träger oder Verbindungselemente. Die Menge, Größe, Form, Lage und Ausrichtung des entworfenen Elements kann direkt aus dem Modell gemessen werden, ohne auf nicht-modellierte Informationen wie Anmerkungen oder Bemaßungen zu verweisen. Nicht-geometrische Informationen können an das Modellelement angehängt werden.
LOD 400	LOD 400-Elemente werden mit ausreichender Detaillierung und Genauigkeit zur Herstellung des dargestellten Bauteils modelliert. Die Menge, Größe, Form, Lage und Ausrichtung des entworfenen Elements können direkt aus dem Modell gemessen werden, ohne auf nicht-modellierte Informationen wie Notizen oder Maßangaben zu verweisen. Nicht-geometrische Informationen können an das Modellelement angehängt werden.
[LOD 500]	[Das Modellelement ist eine bauseitig bestätigte Darstellung in Bezug auf Größe, Form, Lage, Menge und Ausrichtung. Nicht-grafische Informationen können auch an die Modellelemente angehängt werden. Der Detaillierungsgrad ermöglicht die Validierung des hergestellten Elements und führt nicht zwangsläufig zu einer höheren Detaillierung der geometrischen oder nicht-geometrischen Information.]

Allgemein erfolgt mit ansteigendem LOD eine Kumulation der Informationen, da jeder LOD mindestens die Stufe seines Vorgängers erfüllen muss. Da sich LOD 500 auf die bauseitige Überprüfung bezieht und kein Merkmal für den Übergang zu einer höheren Ebene der Modellelementgeometrie oder nichtgrafischer Informationen ist, wird der LOD 500 in dieser Spezifikation nur informativ dargestellt. (BIMForum Stand: 2019)

4.1.2 Level of Geometry (LOG)

Der *Level of Geometry (LOG)* ist ein Teil des LOD und beschreibt den Grad der geometrischen Detaillierung eines Modellelements (Hausknecht und Liebich 2016). Die in Tabelle 8 dargestellten Anforderungen an die LODs enthalten in Form der

geometrischen Anforderungen (*Menge, Größe, Form, Lage und Ausrichtung des entworfenen Elements*) bereits umfangreiche Spezifizierungen an den LOG.

Im Zuge der 3D-Modellierung ist insbesondere zu beachten, dass die Übereinkunft über den Stand des LOGs entscheidend für die Interpretierbarkeit des Modells ist. Andernfalls kann es beispielsweise durch Messen im Modell an einem Bauteil eines niedrigen LOGs zu falschen Rückschlüssen über die geometrischen Ausmaße kommen, wenn der Nutzer des Modells von einem hohen LOG und damit einer hohen geometrischen Genauigkeit im Modell ausgeht.

Zum besseren Verständnis und zur erleichterten Umsetzung empfiehlt die ARGE INFRABIM (2018) Vorlagen für den LOG in den einzelnen Leistungsphasen zu schaffen. Dadurch können die Anforderungen an den Inhalt eines Modells für bestimmte wiederkehrende Bauwerkstypen, also beispielsweise Bundesfernstraßen und insbesondere deren Regelquerschnitte, allgemein für verschiedene Leistungsphasen geklärt werden. (ARGE INFRABIM 2018)

4.1.3 Level of Information (LOI)

Den Modellelementen kann, neben der geometrisch modellierten Information, nicht-geometrische Information angehängt werden. So kann zusätzliche Information beispielsweise auch notwendig werden, wenn aus dem Modell klassische 2D-Pläne abgeleitet werden, die gewissen Normen oder Zeichnungsvorschriften entsprechen müssen. Die Zuordnung der Information an das jeweilige Element erfolgt durch Attribute. (Borrmann et al. 2015)

Wie in Abschnitt 2.2.1 bereits dargelegt, können nicht-geometrische Daten als semantische (Borrmann et al. 2018) oder alphanumerische Information (Hausknecht und Liebich 2016) bezeichnet werden. Im Gegensatz zur intuitiveren, stufenartigen Unterteilung der LOG, ist der Grad der Informationen weniger greifbar und hängt stark vom jeweiligen Anwendungsfall ab (Hausknecht und Liebich 2016). Im Deutschen unter anderem als *alphanumerischer Detaillierungsgrad* (VDI 2552 Blatt 2 Entwurf) oder *Informationstiefe* (Hausknecht und Liebich 2016) bezeichnet, lautet der Begriff nach E DIN EN 17412:2019-07 *Level of Information (LOI)* beziehungsweise *Informationsgrad*.

Die ARGE BIM4INFRA2020 (2019g) fordert die Festlegung der Anforderungen des LOI in der AIA und falls notwendig im BAP. Dabei ermöglichen die Attribute unter anderem die Benennung des Modellelements und die Identifikation per Bauteilkennziffer

und beinhalten Informationen, die sich aus den speziellen Anforderungen der AWF in der jeweiligen Leistungsphase ergeben (ARGE BIM4INFRA2020 2019g).

4.1.4 Dokumentation (DOC)

Eine *Dokumentation (DOC)* „kann jede Sammlung von Dokumenten sein, die für unterstützende Prozesse und die Zusammenarbeit festzulegen und zu nutzen sind“ (E DIN EN 17412:2019-07, S. 19). Die Norm fordert die Definition von drei Aspekten der DOC (vgl. E DIN EN 17412:2019-07, S. 18–19):

- Dokumentation: der Umfang der Dokumentation muss festgelegt werden, zweckgebunden zur Unterstützung von Prozessen, Entscheidungen, Freigaben und Verifizierung von Informationslieferungen
- Dokumente: mehrere Dokumente mit strukturierten Informationen bilden einen Satz, Dokumente können als Datenbank, Dateien oder in gedruckter Form vorliegen
- Format von Dokumenten und Dokumentationen: Einsatz von sowohl herstellerübergreifenden als auch herstellereigenen Datenformaten

Für den möglichen Fall, dass sich Informationen aus Dokumentation, Geometrie und Information widersprechen oder mehrfach vorhanden sind und daraus resultierenden Konsistenzproblemen, empfiehlt die E DIN EN 17412:2019-07 die Festlegung einer deutlichen Hierarchie für die Informationen innerhalb des betreffenden Informationscontainers (vgl. E DIN EN 17412:2019-07, S. 19).

4.1.5 Level of Accuracy (LOA)

Der *Level of Accuracy (LOA) Specification Guide* des U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) (2019) liefert fünf *Stufen der Genauigkeit (Level of Accuracy (LOA))* zur Bauwerksdokumentation. Eine weitere *Benutzerspezifische Stufe (User Defined LOA (UDLOA))* kann durch den Benutzer definiert werden, falls die LOA die geforderte Stufe der Genauigkeit nicht adäquat repräsentieren. Vergleichbar zum LOD-Konzept des BIMForums, können die LOA elementspezifisch zugeteilt werden.

Die Genauigkeit steigt von LOA10 bis LOA50 an. Nachfolgende Tabelle 9 stellt für alle LOA einen Bereich dar, der durch die Unter- und Obergrenze eingeschränkt wird. Die Unter- beziehungsweise Obergrenze kann für die UDLOA frei gewählt werden, dieser sollte jedoch keinesfalls als USIBD LOA bezeichnet werden (U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) 2019).

Tabelle 9: 95%-Sicherheit-Werte der LOAs (Quelle: bearbeitet aus U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) 2019, S. 11)

Level	Untergrenze	Obergrenze
UDLOA	benutzerdefiniert	benutzerdefiniert
LOA 10	15 cm	5 cm
LOA 20	50 mm	15 mm
LOA 30	15 mm	5 mm
LOA 40	5 mm	1 mm
LOA 50	1 mm	0 mm

Das LOA-Konzept arbeitet mit der zweifachen Standardabweichungen 2σ und verwendet daher eine Sicherheit von 95% für die Messwerte (U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) 2019). Dies bedeutet für eine Messung, dass, für eine festgelegte Standardabweichung von 2 cm, 95% der Messwerte eine maximale Abweichung von 2 cm aufweisen.

Des Weiteren unterscheidet das U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) (2019) die LOA nach *gemessener Genauigkeit* und *repräsentierter Genauigkeit*. Dabei beschreibt die gemessene Genauigkeit, den Standardabweichungsbereich der durchgeführten Messung, die repräsentierte Genauigkeit den Standardabweichungsbereich für den Fall, dass die Messdaten weiterverarbeitet werden, also beispielsweise in ein Modell importiert werden. (U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) 2019)

4.2 Status Quo der LODs im Straßenbau

Dieser Abschnitt analysiert den Status Quo für Konzepte der Levels of Development im Straßenbau vor, zusätzlich wurden vergleichsweise allgemeine LOD-Konzepte betrachtet. Die eingehende Untersuchung für allgemeine LOD-Konzepte zahlreicher Organisationen findet sich als Anhang G.

4.2.1 MT Højgaard

Das dänische Unternehmen MT Højgaard verwendet den LOD als geometrische Detaillierungsstufe und LOI als Detaillierungsstufe für Eigenschaften beziehungsweise Informationen und bezieht sich grundsätzlich auf die LODs des AIA. Dabei existieren fünf Stufen für die LODs.

Wichtige Bestandteile sind einerseits ein Bauteilkatalog, der Inhalte des Datenaustausches bezogen auf LOD und LOI definieren soll, und andererseits die Model Progression Specification (MPS). Der Bauteilkatalog ermöglicht dem Planer die möglichen Anwendungen und Anwendungsgrenzen des Modells klar festzulegen. Die MPS formuliert die LODs für verschiedene Arten von Fachmodellen, die an einem bestimmten Punkt der Projektzeitachse/Projektphase erreicht werden müssen.

Nachfolgend werden die LODs exemplarisch für Straßen vorgestellt. Dabei existieren für jedes Bauteil beziehungsweise jede Struktur die fünf möglichen LODs 100, 200, 300, 350, 400. Im *Anhang D - LODs des Unternehmens MT Højgaard* werden die LODs für Gelände, Straßenausstattung, Damm und Entwässerung tabellarisch dargestellt.

Tabelle 10: LODs für Straßen (Quelle: bearbeitet, aus MT Højgaard 2017, S. 15)

LOD	Beschreibung
100	Mittellinie/Achse der Straße (2D)
200	2D-Fläche mit Angabe der Bauweise
300	3D-Oberfläche mit Geländeanschluss
350	3D-Oberfläche mit Geländeanschluss, jeweils mit Neigungen/Gefälle
400	Vollständiger Straßenaufbau und Bordsteinkanten mit Geländeanschluss, jeweils mit Neigungen/Gefälle

Zusätzlich zu den LODs im Bauteilkatalog, werden mittels eines Excel-Sheets die LOI angegeben. Dabei wird in einer Matrixdarstellung für insgesamt fünf Projektphasen (Outline proposal, project proposal, preliminary project, main project /detailed design,

as built; übersetzt etwa: Skizzenvorschlag, Projektvorschlag, Vorprojekt, Hauptprojekt/Detailplanung, Wie gebaut) jeweils mit einem X gekennzeichnet, ob die entsprechende Information beziehungsweise Eigenschaft in der betreffenden Projektphase dargestellt werden soll. Die Eigenschaften selbst sind eher allgemein gehalten, einige Parameter sind laut Tabelle verpflichtend anzugeben und auszufüllen, andere können optional hinzugefügt werden. (MT Højgaard 2017)

Ebenfalls in Matrixform stellt sich die MPS für die LODs dar. Der gesamte Bereich Tiefbau wird in die einzelnen Fachgewerke (wörtlich übersetzt *Gebäudekomponenten*) aufgeteilt, denen die fünf oben genannten Phasen als Informationslieferpunkte gegenübergestellt werden. Die Darstellung der Modelle der einzelnen Fachgewerke wird durch eine Kennzeichnung (X) festgelegt. (MT Højgaard 2017)

4.2.2 DEGES

Das LOD-Konzept der DEGES nimmt initial die Aufteilung des LOD in LOG und LOI vor, wobei diese lediglich auf Bauteile als Elemente eines Modells angewendet werden sollen, da innerhalb eines Modells Bauteile verschiedener Detaillierung existieren können. Die aktuelle Fassung des LOD-Konzepts beachtet grundsätzlich die Anforderungen, die sich aus den DIN EN ISO 19650 ergeben. (DEGES 2019h) Die DEGES empfiehlt die geometrische Detaillierung und die Attribuierung stets in Zusammenhang mit der jeweiligen Leistungsphase und dem Anwendungsfall zu stellen (vgl. DEGES 2019h, S. 6). Bezogen auf die konventionelle Planung mit Zeichnungsmaßstäben ergibt sich für die DEGES beispielhaft die in Tabelle 11 gezeigte Gegenüberstellung mit den LODs und dem Bezug zu den entsprechenden Leistungsphasen.

Tabelle 11: Zeichnungsmaßstäbe und LOD in den Leistungsphasen der HOAI (Quelle: bearbeitet, aus DEGES 2019h, S. 7)

Zeichnungsmaßstäbe und LPH	Level of Development und LPH
1:5000 Konzeptionelle Planung	LOD 100 ≈ Konzeptionelle Planung, Vorplanung
1:1000 Vorplanung	LOD 200 ≈ Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung, Ausschreibung
1:500 Entwurfsplanung	LOD 300 ≈ Ausführungsplanung
1:50 Ausführungsplanung	LOD 400 ≈ Bauausführung, Werkplanung
1:10 Detailplanung	LOD 500 ≈ Modell für den Betrieb

Die LODs stellen in den einzelnen Leistungsphasen grundsätzlich Mindestanforderungen dar. In konventionellen Plänen können innerhalb eines Plans Darstellungen mehrerer unterschiedlicher Maßstäbe vorhanden sein, für das Modell bedeutet dies, dass

diese Objekte möglicherweise mit einem höheren LOG modelliert werden. Die in Tabelle 11 gezeigte LOD - LPH Zuordnung kann analog für die Streckenplanung im Straßenbau getroffen werden. (DEGES 2019h) Die Anforderungen an die LODs sollen sich „ausschließlich an dem Leistungsbild der HOAI [...] und der RE [...] und der dort geforderten Planungstiefe und Genauigkeit“ (DEGES 2019h, S. 7) orientieren. Die Festlegung eines LOD X00 impliziert für LOG und LOI ebenfalls die Stufe X00. (DEGES 2019h) Die DEGES liefert ein umfangreiches Tabellenwerk für die Beschreibung der LOGs und LOIs, die zugrundeliegende Methodik soll nachfolgend vorgestellt werden.

Zur Beschreibung der LOGs wird für Verkehrsanlagen (und Landschaftsbau) zuerst die Zuordnung der LOGs zu den LPHs festgelegt, dargestellt in Tabelle 12.

Tabelle 12: LOGs für Verkehrsanlagen in den Leistungsphasen mit Beschreibung (Quelle: bearbeitet, aus DEGES 2019f, S. 6)

LPH	LOG	Beschreibung und Modellinhalte/Anforderungen
1 - 2	100 (konzepti- onell)	3D Volumenkörper, einfache Modellelemente, Flächen und Volumen definieren
3 - 4	200 (ungefähr)	Modellelemente mit dem Ziel, diese vordimensionieren und die „Qualität“ und Quantität zu definieren Volumenmodelle mit groben Abmessungen, Form, Lage, Verlauf, Höhen- verlauf gem. Planung, Modellierung der einzelnen Bauteile so, dass ein Planableitung in der geforderten Genauigkeit möglich ist
5 - 7	300 (genau)	Modellelemente mit dem Ziel, Dimensionen zu definieren und bemessen, „Qualität“ und Quantität zu definieren, z.B. Streckenausstattung definiert exaktere Modellierung der einzelnen Bauteile und des Ausbaus, exakte Menge, Lage, Material, Verlauf, Höhenverlauf gem. Planung, raumorien- tierte Fachmodelle
8	400 (Bauaus- führung)	Modellelemente mit dem Ziel, Material zu definieren, Dimensionen nach- führen durch tatsächliche Produkte, Fabrikationsdetails einzuarbeiten, Informationen für die Logistik vorhanden detailliertere Modellierung der einzelnen Bauteile, Modellierung der fest- gelegten Ausstattung als Platzhalterkörper, objektorientiertes Modell
9	500 (Bestand, Betrieb)	3D-Bestandsmodell (As-built), Darstellung des (neuen) Bestandes Angaben zur Bauwerkserhaltung

Der Bodenabtrag (Abzugskörper) ist als Volumenkörper gemäß LOG 200 darzustellen.

Anschließend definiert die DEGES für die Verkehrsanlage für jeden LOG die Art der Darstellung für alle Modellelemente, aufgeführt in Tabelle 13 und eine allgemeine Beschreibung des (Gesamt-)Modells der einzelnen LOGs in Tabelle 14.

Tabelle 13: Darstellung der Modellelemente für Verkehrsanlagen in den LOGs (Quelle: eigene Darstellung nach DEGES 2019f, S. 8–33)

Bezeichnung	LOG 100	LOG 200	LOG 300	LOG 400	LOG 500
Erdbau	X	X	X	X	X
Landschaftsbau	X	X	X	X	
Wasserhaltung			X	X	
Entwässerung		X	X	X	X
Fahrbahn	X	X	X	X	X
Fahrbahnmarkierung		X	X	X	X
Borde		X	X	X	X
Gehwege	X	X	X	X	X
Mauern	X	X	X	X	X
Zäune und Holzgeländer	X	X	X	X	X
Fahrzeugrückhaltesysteme	X	X	X	X	X
Verkehrsschilder		X	X	X	X
Lichtsignalanlage		X	X	X	X
Beleuchtung		X	X	X	X
Kabel		X	X	X	X

Tabelle 14: Beschreibung der Gesamtmodelle in den LOGs (Quelle: eigene Darstellung nach DEGES 2019f, S. 8–33)

LOG	Beschreibung des/der Gesamtmodells/-modelle und Darstellung
100	<p>Modell dient zur Analyse, Vorplanung, Kostenschätzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • RE 2012 Vorplanung • vereinfachte Strecken-bzw. Straßenabbildung • 3D-Modellvarianten für ableitbare 2D-Pläne und Karten zur Entscheidungsfindung • Trassierungsvarianten: Einschnitte, Aufschüttung, Ingenieurbauwerke (ggf. Platzhalter), Festlegung Knotenpunktkonzept • Vorplanungsmodell enthält wesentliche Modellelemente/ Objekte zu wesentlichen Bauteilen (z.B. Oberbau, Dammböschung, Einschnittsböschung, Ingenieurbauwerke, usw.)
200	<p>Modell dient zur Auswertung der Vorentwurfsplanung und des Feststellungsentwurfs, Kostenermittlung und Terminplanerstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> • RE 2012 Vorentwurf • RE 2012 Feststellungsentwurf • Bauteile werden typgerecht modelliert und bezeichnet • Vorentwurfsmodell wird auf Grundlage des Vorplanungsmodells erstellt, der Detaillierungsgrad der Modellelemente wird erhöht • Modell für Feststellungsentwurf wird auf Grundlage des Vorentwurfs erstellt • 3D-Modellvarianten für ableitbare 2D-Pläne

	<ul style="list-style-type: none"> • Modellelemente/Objekte besitzen genaue geometrische Form, Größe, Farbe • alle Modellelemente/Objekte werden so angelegt, dass die Streckenplanung „grundstücksscharf“ festgestellt und genehmigt werden kann
300	<p><i>Modell dient zur Auswertung der Ausführungsplanung sowie der Erstellung von Teilleistungen und Terminplanausgestaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • RE 2012 Ausführungsentwurf • Modelle für ableitbare 2D-Pläne • Modellelemente/Objekte besitzen genaue geometrische Form, Größe, Farbe
400	<p><i>Modell dient der Ausführung sowie dem Mängelmanagement, Abrechnung und Terminplanausgestaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • RE 2012 Ausführungsentwurf • Modell für die Ausführung wird auf Grundlage des Ausführungsentwurfs erstellt • 3D-Modell für ableitbare 2D-Pläne • Modellelemente/Objekte besitzen genaue geometrische Form, Größe, Farbe, Textur
500	<p><i>Modell dient als As-Built-Modell dem Betrieb und der Erhaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Modell für den Betrieb und die Erhaltung wird auf Grundlage der Bauausführung erstellt • Modellelemente/Objekte besitzen genaue geometrische Form, Größe, Farbe, Textur

Die Tabellen aus dem LOD-Konzept der DEGES liefern für jedes „X“ aus Tabelle 20 eine detaillierte Beschreibung für die in dieser LOG geforderten Darstellung des Teilmodells beziehungsweise seiner Elemente.

Für die LOIs definieren die weiteren Anlagen zum LOD-Konzept die Informationsanforderungen an die Modellelemente von Strecken (sowie Umwelt und Bauwerke). Dafür definiert die DEGES mögliche Datentypen für die Attribute (vgl. DEGES 2019g, S. 6–8):

- String (Zeichenkette)
- Integer (Ganzzahl)
- Real (Gleitkommazahl)
- Date (Datum)

Die Informationen werden aufgeteilt in die Eigenschaftssätze

- Projektinformation
- Straßen- bzw. Bauwerksinformation
- Bauteilinformation
- Zusatzinformation

Dabei wird die Projekt- beziehungsweise Bauwerksinformationen beispielsweise durch Attribuierung an einen beliebigen Volumenkörper in ausreichender Höhe oberhalb des

Bauwerks im Modell dargestellt, die Bauteilinformationen dem jeweiligen Bauteil direkt zugeordnet. Die von der DEGS vergebenen Bauteilinformationen orientieren sich an der AKVS (Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen), der SIB ASB (Straßen-Informations-Bank auf Grundlage der Anweisung Straßendatenbank) und der ASB ING (Anweisung Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem Bauwerksdaten). (DEGES 2019g)

Anschließend wird für jedes Segment (Teilmodelle, Erdbau, etc.) und jedes Element festgelegt ob Bauwerksinformationen und Bauteilinformationen attribuiert werden sollen. Nachfolgend erfolgt für die verschiedenen Informationen für jedes Element die Auflistung aller durch die DEGES vergebenen Attribute und eine Kennzeichnung, für welchen LOI welche Attribute, durch welchen Datentyp ausgefüllt werden sollen. Die Tabelle umfasst die LOI 100 bis 400. (DEGES 2019g)

4.2.3 ARGE BIM4INFRA

Die ARGE BIM4INFRA beschreibt den Ausarbeitungsgrad LOD als wichtige Grundlage, um für Informationslieferungen die Qualität und Quantität sicherzustellen und damit „weder zu viele noch zu wenige oder die falschen Informationen bereitzustellen“ (ARGE BIM4INFRA2020 2019g, S. 14). Die LODs werden für Anwendungsfälle festgelegt, deren Anforderungen in AIA und BAP beschrieben sind. Der LOD besteht im Konzept von BIM4INFRA aus LOG und LOI. Der AG gibt die notwendigen Informationen als die für ihn erforderlichen Eigenschaften vor. Damit lassen sich für die erforderlichen Attribute keine absoluten Aussagen über deren Anzahl treffen. Die ARGE BIM4INFRA beschreibt die Verwendung von Datenbanken, zur Festlegung der Attribute der einzelnen Modellelemente in den Leistungsphasen und Anwendungsfällen, als Möglichkeit, die Anforderungen des AG mit den AWF in Übereinstimmung zu bringen. (ARGE BIM4INFRA2020 2019g) Untenstehend werden in Tabelle 15 die einzelnen LODs nach BIM4INFRA für ein Straßenbaumodell beschrieben.

Tabelle 15: Beschreibung der LODs der ARGE BIM4INFRA (Quelle: ARGE BIM4INFRA2020 2019g, S. 15–16)

LOD	Beschreibung
100	Das Modell wird als einfaches Modell mit wesentlichen groben Bauwerksparemtern, wie Fläche, Länge, Breite, Höhe, Lage und Position erstellt und muss noch nicht zwingend einzelne Modellelemente enthalten. Es dient der Ausarbeitung eines Lösungskonzepts für das Linienbauwerk inklusive des Ingenieurbauwerks, der städtebaulichen Einordnung und der Kommunikation mit dem Auftraggeber.

	Modelle bzw. Modellelemente mit einem LOD 100 werden in der Leistungsphase 2 nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) genutzt. Die jeweiligen Fachmodelle werden auch Vorentwurfsmodelle genannt.
200	Die wesentlichen Modellelemente werden im Modell typgerecht als Bauteile oder Bauteilgruppen mit Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen sowie den erforderlichen alphanumerischen Informationen modelliert. Für die Genehmigungsplanung erfolgt eine für die Genehmigung notwendige Erhöhung der Informationstiefe. Die 2D-Pläne sind aus dem Modell ableitbar. Modelle bzw. Modellelemente mit einem LOD 200 werden in den Leistungsphasen 3 und 4 genutzt, die jeweiligen Fachmodelle werden auch Entwurfsmodelle genannt.
300	Die Modellelemente werden im Modell typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen modelliert. Weitere alphanumerische Informationen werden den Modellelementen hinzugefügt. Zur Vorbereitung der Vergabe erfolgt eine Ableitung der Mengen und weiterer Informationen aus dem Modell für Leistungsverzeichnisse. Modelle bzw. Modellelemente mit einem LOD 300 werden in den Leistungsphasen 5 bis 7 genutzt, die jeweiligen Fachmodelle werden auch Ausführungsmodelle genannt.
350	Die Modellelemente werden im Modell wie in LOD 300 typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen und alphanumerischen Informationen modelliert. Der LOD kann durch Detailzeichnungen, wie Böschungssicherung, Geländer oder Bordsteindetails ergänzt werden.
400	Die Modellelemente werden im Modell typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen sowie Montage- und Installationsdetails modelliert. Weitere alphanumerische Informationen wie Fertigungs- und Einbaudetails sowie Herstellerinformationen werden den Modellelementen hinzugefügt. Modelle bzw. Modellelemente mit einem LOD 400 werden in der Leistungsphase 8 genutzt; die jeweiligen Fachmodelle werden auch Bau- und Montagemodelle genannt.
500	Die Modellelemente sind bezüglich Dimension, Form, Lage, geografischer Referenz, Mengen und sämtlicher erforderlicher alphanumerischer Informationen eine überprüfte Abbildung der eingebauten Bauteile. Modelle bzw. Modellelemente mit einem LOD 500 beinhaltet das „Wie-gebaut“-Modell. Basierend auf dem „Wie-gebaut“-Modell wird das Betriebsmodell für den Betrieb und die Unterhaltung des Bauwerks erstellt. Betriebsrelevante alphanumerische Informationen werden hinzugefügt, komplexe Geometrien und planungsrelevante Informationen werden entfernt oder vereinfacht.

Die LODs der ARGE BIM4INFRA besitzen insgesamt sechs Stufen. Für den Straßenbau selbst werden insgesamt zwei Fachmodelle identifiziert (Straßenbau- und Ausstattungsmodell), als übergeordnete Fachmodelle werden Bestandsmodell

(Bauwerke), DGM, Baugrundmodell, Umgebungs-, Bebauungs-, Umweltmodell, Trassierungsmodell und Verkehrsmodell genannt (vgl. ARGE BIM4INFRA2020 2019g, S. 7)

4.2.4 Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (HDB) - Straßenbau

Der HDB fordert für BIM im Straßenbau die Definition der LODs in Abhängigkeit zur Anforderung des Datenaustauschs. Der LOD stellt sich als Summe von LOG und LOI dar. (HDB e.V. 2019) Unten abgebildete Tabelle 16 zeigt die LOGs und LOIs des HDB mit Beschreibung.

Tabelle 16: LOD-Konzept des HDB für den Straßenbau (Quelle: bearbeitet, aus HDB e.V. 2019, S. 13)

LOD	LOG	Beschreibung
	LOI	
100	100	Es ist kein BIM-Modell erforderlich. Allerdings können Planungsunterlagen wie Gelände- und Bestandsvermessung oder Bestandsdaten (Bauwerk und Sparten) vorgegeben werden.
		Es sind keine semantischen Informationen erforderlich.
200	200	Die Modellelemente werden als Volumenkörper mit ungefähre Menge, Abmessung, Form, Lage und Orientierung dargestellt. Sie dienen lediglich als Platzhalter.
		Erste semantische Informationen gemäß BIM Anwendungsfällen können enthalten sein, wie Material oder Bauteilklassifikation.
300	300	Die Modellelemente werden mit exakter Menge, Abmessung, Form, Lage und Orientierung dargestellt, die direkt aus dem Modell ermittelt werden können.
		Weitere semantische Informationen gemäß BIM Anwendungsfällen werden hinzugefügt.
400	400	Die Modellelemente werden mit exakter Menge, Abmessung, Form, Lage und Orientierung dargestellt, die direkt aus dem Modell ermittelt werden können. Schnittstellen zu benachbarten Bauteilen werden abgebildet, zum Beispiel durch die Darstellung von Befestigungsobjekten.
		Weitere semantische Informationen gemäß BIM Anwendungsfällen werden hinzugefügt, wie spezifische Angaben zu den Befestigungsobjekten.
500	500	Die geometrische Darstellung wird um spezifische Informationen ergänzt, die für die Herstellung, Installation und Montage erforderlich sind. Der exakte Aufbau der Modellelemente wird zusätzlich in Detailplänen (2D) dargestellt. ("As-Built"/wie gebaut)
		Weitere semantische Informationen gemäß BIM Anwendungsfällen werden hinzugefügt, wie ausführende Firma, Lieferbedingungen oder Produktbezeichnungen.

Auffallend ist, dass den LOIs keine direkten Stufen zugewiesen werden, sondern eine Kumulierung über die einzelnen LODs erfolgt. Für die LODs und damit auch für die LOGs, ergeben sich insgesamt fünf Detaillierungsstufen.

4.2.5 Fazit

Zur besseren Lesbarkeit sollen nachfolgend, unabhängig vom Herausgeber der jeweiligen Spezifikationen und den dabei verwendeten Akronymen (LoI, LoD, MDG, etc.), die Abkürzungen LOD als Vereinigung von LOG und LOI verwendet werden. Die Untersuchung der LOD-Konzepte erfolgte anhand der in Tabelle 17 dargestellten Faktoren, die grün hinterlegten Konzepte sind straßenbezogen.

Tabelle 17: Untersuchung der LOD-Konzepte (Quelle: eigene Darstellung)

Untersuchung von LOD-Konzepten	BIMForum	E DIN EN 17412	VDI	VBI	AHO	DB S&S AG	DB Netz AG	HDB - SpezialTB	CIC	NBS	MT Højgaard	DEGES	BIM4INFRA	HDB - Straße
LOG	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
LOI	JN	J	J	J	J	J	J	J	JN	J	J	J	J	J
DOC	N	J	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Bezug auf Einzelelemente	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	JN	J	J	J
Stufenzahl	5	N	6	10	10	5	5	6	5/6	6	5	5	6	5
Stufen Geometrie	5	3	6	6	6	2	5	6	5/6	5/6	5	5	5/6	5
Stufen Information	N	N	N	10	10	2	5	N	o	5/6	5	5	5/6	N
Modell As-Built	N	N	J	J	J	J	J	JN	J	JN	N	J	J	J
Betriebsmodell	N	N	J	J	J	N	N	N	N	JN	N	J	J	N
Orientierung an LPH	N	N	J	J	J	J	J	JN	JN	J	J	J	J	N
Orientierung an AWF	N	J	J	N	N	o	o	JN	N	JN	JN	J	J	JN
Katalog Bauteile (LOG)	N	N	J	N	N	J	JN	N	J	J	J	J	N	N
Katalog Attribute (LOI)	N	J	J	N	N	J	JN	J	JN	J	J	J	N	N
Katalog Modellinhalt	N	J	J	N	N	N	N	N	J	-	J	J	JN	N
Strukturplan/MPS/ Modellentwicklungsmatrix	N	J	J	N	N	N	N	N	N	-	J	J	N	N
Deutschland	N	J	J	J	J	J	J	J	N	N	N	J	J	J

Legende:

ja J
nein N
teilweise JN

LOD Straße
unklar/offen o
keine Angabe -

Dabei wiesen alle Konzepte eine Unterteilung der LODs in LOGs und LOIs auf, diese erfolgte bei BIMForum und CIC nicht ausdrücklich, ergab sich aber implizit durch die Beschreibung des LOD beziehungsweise LOG. Die Dokumentation als neu eingeführter Anforderungsbereich für LODs wurde lediglich in dem DIN-Entwurf 17412 erwähnt, verstärkte Berücksichtigung wird dieser Bereich vermutlich mit Einführung des Regelwerks erfahren.

Nahezu alle Konzepte bezogen den LOD klar auf einzelne Modellelemente und zusammengehörige Bauteilsysteme (DB S&S AG), MT Højgaard bezieht sich eher auf ganze Fachmodelle, beschreibt aber auch einige wenige Bauteile.

Die Unterteilung der LODs erfolgt größtenteils in 5 oder 6 Stufen, was für eine Anlehnung an das BIMForum spricht, viele Organisationen beschreiben jedoch eine Stufe, die das As-Built-Modell beinhaltet beziehungsweise darstellt und weichen darin von der Definition des BIMForums ab. Deutlich unterscheidet sich die Festlegung von VBI und AHO, die jeweils 10 Stufen, nämlich für die Leistungsphasen 1-9 und den Betrieb, darstellen. Hierbei gilt jedoch zu beachten, dass die Stufenanzahl, die eine Veränderung der Modellgeometrie zur Folge haben, 6 Stück umfasst und VBI und AHO damit den übrigen Unterteilungen entsprechen. Die zusätzlich aufgestellten LODs dieser beiden Organisationen beinhalten jeweils eine Zunahme der semantischen Information beziehungsweise die Ergänzung des Modells mit zusätzlichen Unterlagen und Plänen.

Der überwiegende Teil der LOD-Konzepte stellt einen Zusammenhang mit den landesüblichen Leistungsphasen her und einige Konzepte ziehen zusätzlich Anwendungsfälle als Grundlage der LODs heran. Die E DIN EN 17412 berücksichtigt nicht die Planungsphasen der HOAI, sondern stellt fest, dass die Erstellung der Modelle AWF-bezogen erfolgen soll und daher ein Element unterschiedliche Ausprägungen „an demselben Meilenstein der Informationslieferung bei verschiedenen Zwecken“ (E DIN EN 17412:2019-07, S. 16) aufweisen kann.

Alle Autoren außer das BIMForum, die Entwurfs-DIN und MT Højgaard beschreiben Anforderungen an ein As-Built-Modell, wobei die MT Højgaard hierfür die Verantwortung beim AG sieht, die Anforderungen an das Modell bei Projektstart festzulegen. Die DEGES, BIM4INFRA, VDI, VBI und AHO beschreiben Anforderungen an ein Betriebsmodell, MT Højgaard bezieht sich wiederum auf den AG.

Die E DIN EN 17412 fordert die Erstellung eines Strukturplans als „Zergliederung eines festgelegten Anwendungsbereichs in gestaffelte Grade“ (E DIN EN 17412:2019-07, S.

7), also einer Zuordnung, welche Modellelemente beziehungsweise Teil- oder Fachmodelle in welchem LOD mit welchen Ausprägungen vorzufinden sind. Umgesetzt wird dies auch in den LOD-Konzepten des VDI (Modellentwicklungsmatrix), der DEGES (Detaillierung mittels mehrerer Tabellen) und MT Højgaard (Model Progression Specification (MPS)). Darüber hinaus liefern MT Højgaard und insbesondere die DEGES umfangreiche Kataloge für die Bauteile (LOG), die Attribute (LOI) und die Modellinhalte als Unterstützung des Modellstrukturplans.

Durch Fehrenbach und Jaud erfolgte 2019 ein Vergleich verschiedener LOD-Konzepte im Infrastrukturbau. Dabei wurde die Bedeutung von LOD-Konzepten als Grundlage der Kommunikation betont und ein Vergleich von jeweils einem Konzept aus dem Straßen-, Brücken-, Tunnel- und Schleusenbau gezogen, wobei die Autoren die schwierige Vergleichbarkeit unterschiedlicher Ansätze mit Abweichung zur Referenzstruktur des BIMForums bemängelten. Ebenso wird eine „Verbindung der LoD [= LOD, Anm. d. Autors] zu den Leistungsphasen [...] [aufgrund der Entstehung von LOD ### Modellen] kritisch gesehen“ (Fehrenbach und Jaud 2019, S. 353).

Insgesamt gesehen kann der Status Quo für LODs bei Straßenbauprojekten so eingeschätzt werden, dass zwar bereits zahlreiche Grundlagen bestehen, die tatsächliche und verbindliche Festlegung als Kommunikationsgrundlage jedoch noch aussteht. Die existierenden Konzepte liefern gute Ansätze und weisen, beispielsweise bei der Definition der LOGs, eine gute Vereinbarkeit auf. Die Konzepte sind teilweise sehr allgemein gehalten und teilweise, vor allem bei der DEGES und der Deutschen Bahn, schon sehr detailliert. Hierbei muss jedoch für die Deutsche Bahn relativiert werden, dass die Projekte der DB Station&Service AG einen sehr hohen Standardisierungsgrad aufweisen und daher in der Komplexität reduziert sind, sichtbar wird dies auch darin, dass das LOD-Konzept der DB Netz AG deutlich geringere Detailtiefen aufweist.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen nachfolgend für ein LOD-Konzept in den einzelnen Leistungsphasen verwendet werden.

4.3 LOD-Konzept im Projektverlauf

In diesem Kapitel wird die Methodik eines LOD-Konzepts für Straßenbauprojekte vorgestellt und anschließend exemplarisch auf die einzelnen Leistungsphasen angewandt.

Die Anforderungen aus der RE 2012 gelten verpflichtend für die Planungsstufen Vorplanung, Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung. Für die Ausführungsplanung definiert sie keine Anforderungen, kann jedoch als Grundlage verwendet werden. Aufgrund des offensichtlich starken Bezugs zur RE 2012 in den folgenden Unterkapiteln soll im Sinne der besseren Lesbarkeit auf eine gesonderte Kennzeichnung indirekter oder direkter Zitate weitestgehend verzichtet werden.

In den Ausführungen zu den einzelnen LODs der Leistungsphasen werden jeweils die Anforderungen der RE dargelegt. Dabei wird zuerst festgestellt, welcher Output in den jeweiligen Phasen zu liefern ist, anschließend werden die erforderlichen Anwendungsfälle einbezogen. Anhand dieser kann der LOD der jeweiligen Planungsphase bestimmt werden, als grundlegende Definition der LODs für die Modellelemente soll das bereits vorgestellte Konzept der DEGES verwendet werden, da dieses für LOGs und LOIs für Verkehrsanlagen umfangreiche Festlegungen bereithält.

4.3.1 Methodik des LOD-Konzepts

Die Untersuchung der LOD-Konzepte schätzt das Konzept der DEGES als ausgereiftestes aller untersuchten Konzepte ein. Dabei werden für jede Stufe des LOD, die Anforderungen als Mindestanforderungen gesehen. Der VBI stellt für die LODs eine Abhängigkeit von den Leistungsphasen und der Fachdisziplin fest, die ARGE BIM4INFRA erkennt zusätzlich, dass sich der LOD aus den Anforderungen eines Anwendungsfalles ergibt, bestätigt wird dies durch die E DIN EN 17412.

Die AWF der ARGE BIM4INFRA sollen als Grundlage für die nachfolgenden Überlegungen dienen, da sie, im Vergleich zu anderen vorgestellten AWF (siehe Abschnitt 2.2.3 und Anhang B), einerseits durch die vergleichsweise geringe Anzahl und andererseits durch die verhältnismäßig übersichtliche Zuordnung zu den Leistungsphasen der HOAI gut handhabbar sind.

Die Definition eines LODs für eine gesamte Leistungsphase ist vorerst grundsätzlich nicht zweckdienlich, da allgemein für Projekte und insbesondere für Projekte vor dem Hintergrund der noch unvollständigen Einführung der BIM-Methode, nicht klar ist,

welche Anwendungen tatsächlich im Rahmen einer Leistungsphase umgesetzt werden sollen. Dadurch wäre die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, ein Übermaß an Daten und geometrischer Detaillierung zu generieren und somit unwirtschaftlich zu agieren, falls nicht alle Anwendungen erforderlich sind.

Angesichts dessen wird empfohlen, grundlegend für jeden Anwendungsfall in jeder Leistungsphase, die dessen Einsatz als sinnvoll erachten lässt, den mindestens erforderlichen LOD zu definieren. Werden nun innerhalb der LPH mehrere AWFs mit jeweils variierendem LOD umgesetzt, so soll insgesamt für diese LPH ein Modell erstellt werden, dessen Modellelemente das „kleinste gemeinsame Vielfache“-LOD darstellen. Jedes Modellelemente besitzt dann folglich einen LOD, der für jeden AWF, der in der betreffenden LPH im Projekt tatsächlich umgesetzt werden soll, die Mindestanforderung erfüllt oder übererfüllt. Für den LOI eines Elements bedeutet dies, dass eine Kumulation aller erforderlichen Informationen über alle umzusetzenden AWFs dieser LPH erfolgt.

Die praktische Umsetzung dieser Empfehlung sieht folgendermaßen aus:

- Für jeden AWF wird für jede Leistungsphase 1 - 9 und den Betrieb definiert, welche Bestandteile mit welchem LOD erforderlich sind, exemplarisch dargestellt in Tabelle 18. Wird die Umsetzung des AWF X für eine Leistungsphase ausgeschlossen, bleibt der entsprechende Tabellenbereich unausgefüllt. Die Darstellung entspricht einer *Modellelemententwicklungsmatrix des Anwendungsfalls AWF X* und kann auch in einer Datenbank realisiert werden. Darüber hinaus muss für die übrigen Teilmodelle entschieden werden, mit welcher Detaillierung diese dargestellt werden sollen (beispielsweise Bestandsmodell).
- Zusätzlich werden für jedes Element die Inhalte und Merkmale in den verschiedenen Stufen der LOGs und LOIs genau definiert. Dies erfolgt vorzugsweise in einer Datenbank, kann aber auch gemäß den Anhängen des LOD-Konzepts der DEGES oder anhand anderer gleichwertiger Aufstellungen erfolgen.
- Zur Bestimmung des LOD einer Leistungsphase erfolgt die Auflistung aller durchzuführenden AWF in dieser LPH, anschließend wird, wie oben beschrieben, der kleinste gemeinsame LOD bestimmt. Dieser stellt dann das LOD der durchzuführenden Leistungsphase dar. Für jede weitere LPH wird dieser Prozess wiederholt.

Tabelle 18: Modellelemententwicklungsmatrix des Anwendungsfalls AWF X in Abhängigkeit der Leistungsphasen der HOAI (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Tabelle 13)

AWF X	LPH 1		LPH 2		LPH 3		...
	LOG	LOI	LOG	LOI	LOG	LOI	
Erdbau			100	100	200	200	
Landschaftsbau			100	100	200	200	
Wasserhaltung							
Entwässerung					100		
Fahrbahn			100	100	200	300	
Fahrbahnmarkierung					200		
Borde					200	100	
Gehwege			100	100	200	200	
Mauern			100		200	100	
Zäune und Holzgeländer			100	100	200	200	
Fahrzeugrückhaltesysteme			100		200	200	
Verkehrsschilder					200	200	
Lichtsignalanlage					300	200	
Beleuchtung					200	200	
Kabel					200	200	

Dieses Vorgehen stellt einmalig einen hohen Aufwand dar, ermöglicht aber anschließend, anhand eines „Baukastensystems“, einzelne in Umfang und Qualität klar definierte AWFs ins Leistungsbild einer Leistungsphase aufzunehmen. Diese werden dann in der Leistungsphase durch einmalige Erstellung des oder der Fachmodelle abgewickelt.

Für Bauherren und Planer kann sich diese Methodik als vorteilhaft erweisen, da der Aufwand in klar abgrenzbare Arbeitspakete mit hohem Standardisierungspotential unterteilt werden kann und sich in der Folge eine transparentere Preispolitik ergibt.

Die Attribuierung allgemeiner und übergeordneter Informationen der Straße beziehungsweise Trasse soll durch Zuordnung dieser zur Straßenachse erfolgen. Grundsätzlich gilt, dass Informationen für ein Attribut beispielsweise durch eine detailliertere Dimensionierung in der Folge-LPH überschrieben werden dürfen, sofern dies sinnvoll erscheint.

4.3.2 Vorplanung (Leistungsphase 2)

Als Ziel dieser Leistungsphase ist festgelegt, dass am „Ende der Planungsstufe Vorplanung [...] Entwurfsunterlagen vorliegen [müssen], damit der Straßenbaulastträger der vorgeschlagenen bevorzugten Variante zustimmen kann“ (RE 2012, S. 15). Zur

Bestimmung der erforderlichen LODs dieser Leistungsphase, soll gemäß der oben vorgestellten Methodik für jeden relevanten AWF festgestellt werden, ob ein LOD und falls ja, welcher LOD gewählt werden muss.

AWF 1 - Bestandserfassung

LOG: Die Umsetzung des AWF erfolgt durch Erstellung eines oder mehrerer Grundlagenmodelle, wobei insbesondere zur optimalen Abwicklung der LPH 2 mindestens folgende Inhalte in dem oder den Modellen enthalten sein sollen:

- überörtliches Straßennetz, wichtige Stadt- bzw. Gemeindestraßen, wichtige Verwaltungsgrenzen, kreuzende/im Näherungsbereich vorhandene Eisenbahnstrecken und Wasserstraßen
- Verwaltungsgrenzen, z. B. Bundes-/Landes-/Kreis-/Gemeindegrenzen mit Bezeichnung der Gebietskörperschaften
- entscheidungserhebliche Ziele der Raumordnung (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete, Freiräume, Infrastruktureinrichtungen (Anlagen und Trassen))
- Gebiete wie Siedlungsgebiete, Sonderflächen (militärisch) oder Infrastruktureinrichtungen (Anlagen und Trassen)
- Schutzgebiete Natur, Landschaft, Wasser, Kultur-, Bau- und Bodendenkmale

Die Detaillierung soll so gewählt werden, dass Grundlagenmodell(e) für alle nachfolgenden AWF und LPH verwendet werden können, die vom planenden Unternehmen sicher umgesetzt werden sollen. Dabei ist unter dem Hintergrund des Verwendungszwecks folgendes zu beachten. Findet die Baumaßnahme innerhalb bebauter Ortschaften statt, so wird insbesondere für spätere Leistungsphasen ein deutlich erhöhter Detaillierungsgrad notwendig sein, um beispielsweise eine Ausführungsplanung an den Bestand mit hoher Genauigkeit anschließen zu können. Daher wird für derartige Fälle die Empfehlung ausgesprochen, den Bestand durch LOG 200 Modellelemente zu modellieren und entsprechend durch die Vermessung zu erfassen. Für Projekte auf freier Strecke reicht beispielsweise die Modellierung des Bestands als einfaches Raster-DGM aus, LOG 100.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- RGB-Farbinformationen für Flächen nach RE 2012
- Verwaltungsgrenze XY
- ggf. Hinweise, ...

Dieser AWF impliziert für das Fachmodell Verkehrsanlagen und dessen Modellelemente keinen LOD, da diese im Grundlagenmodell nicht enthalten sind.

AWF 2 - Planungsvariantenuntersuchung

LOG: Dieser AWF entwickelt den grundsätzlichen konzeptionellen Trassenverlauf in mehreren Varianten und soll die Wahl der Vorzugsvariante vorbereiten. Es werden die grundlegenden Trassierungselemente in Lage und Höhe verwendet und die einzelnen Trassen als einfache Volumenkörper (Sweeps siehe 5.3.1) oder als DGM-Flächen für Straßenoberfläche und Böschungen/Einschnitte dargestellt, symbolische Darstellung der Knotenpunkte und der Großbauwerke (Großbrücken und Tunnel). Der LOG lässt sich sowohl dem LOG 100 als auch dem LOG 200 zuordnen. Die Entscheidung fällt an dieser Stelle auf den LOG 100, da dieser ausreicht, um im Zusammenhang mit der Vorplanung im Straßenbau raumbezogene Entscheidungen zu treffen; der konzeptionelle überwiegt den vordimensionierenden Aspekt.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- (Modellstrukturschlüssel, gesondert beschrieben, mehrere Attribute)
- Kilometrierung/Stationierung
- Attribuierung Variantename/Nummer
- Trassierungselement-Typ
- Längsneigung
- Krümmung
- Knotenpunktinformationen
- Informationen der Knotenpunkte und Großbauwerke
 - Nummer des Bauwerks
 - Bezeichnung
 - Bau-km
 - lichte Weite/lichter Höhe bzw. Länge
 - Breite zwischen den Geländern
 - Bauwerkskurzbezeichnung
- kritische Abstandsmaße zu parallel verlaufenden Eisenbahnstrecken und anderen Anlagen der Infrastruktur
- Angaben zu weiteren Maßnahmen
- ggf. Hinweis, ...

Für AWF 2 wird der LOD 100 mit Zuordnung obenstehender Eigenschaften empfohlen.

AWF 3 - Visualisierungen

LOG: Die Visualisierung soll mit dem maximalen LOD der anderen AWF durchgeführt werden, da sich bei der Wahl eines höheren LOD zum einen ein erhöhter Modellierungsaufwand ergibt und zum anderen die Visualisierung den Interessenten ansonsten einen falschen Planungsstand suggerieren könnte.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- RGB-Farbinformationen für Elementtypen nach RE 2012
- Material
- ggf. Oberflächenbeschaffenheit
- ggf, Hinweise, ...

Der LOD des AWF 3 wird durch den gewählten LOD der Leistungsphase 2 gewählt.

AWF 5 - Koordination der Fachgewerke

LOG: keine Anforderungen

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Art des Fachmodells

AWF 7 - Erstellung von Entwurfsplänen

In der LPH 2 ist die Erstellung von Übersichtskarte, Übersichtslageplan, Übersichtshöhenplan, Lageplan und Höhenplan gefordert. Der Maßstab für die Pläne der höchsten Detaillierung beträgt in dieser Phase 1 : 10 000 und für die überhöht dargestellten Höhen des Höhenplans 1 : 1 000 nach RE 2012. Die hierfür benötigten LODs entsprechen denen des AWF 2. Wichtig für die Möglichkeit der Generierung hochwertiger Pläne ist insbesondere die erfolgreiche und qualitativ adäquate Umsetzung des Anwendungsfalls AWF 1.

AWF 9 - Planungsfreigabe

Keine eigenen Anforderungen an die LODs

AWF 10 - Kostenschätzung

Die Kostenschätzung stellt eine „überschlägige Ermittlung der Kosten auf der Grundlage der Vorplanung“ (AKVS, 2 - Seite 15) dar. Die Kostenschätzung basiert auf Erfahrungswerten (Kosten pro m² Oberbaufläche, Kosten pro Laufmeter für

Erdbau/Entwässerung) und pauschalierten Annahmen (5% der Gesamtnettobausumme für Baustelleneinrichtung).

LOG: Modellierung so, dass für jede Variante Flächen (Längen und Breiten) beziehungsweise Volumen konzeptionell entworfen sind, entsprechend LOG 100. Modellierung der Pauschalposten als Platzhalterelement an einer markanten Position im Modell, ohne dass diese Elemente als „echte“ Projektgeometrie interpretiert werden können.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- jeweils zutreffende Hauptkostengruppe (1 - 9) nach AKVS um eine spätere Aufsummierung mehrerer Elemente zu ermöglichen:
 - Grunderwerb
 - Baustelleneinrichtung, baubegleitende Leistungen
 - Verkehrssicherung an Arbeitsstellen
 - Erdbau (Untergrund, Unterbau, Entwässerung von Straßen), Bodenerkundung, Entsorgung
 - Oberbau
 - Konstruktiver Ingenieurbau
 - Landschaftsbau
 - Ausstattung
 - Sonstige besondere Anlagen und Kosten
- ggf. Pauschal- und Erfahrungskosten, abhängig von verwendeten Softwareprodukten, ...

Zusammenfassung:

Aus den oben dargestellten LODs der jeweiligen Anwendungsfälle ergibt sich folgendes Fazit. Der hier zu verwendende LOD 100 der Vorplanung setzt sich zusammen aus dem LOG 100 als gemeinsame Mindestanforderung aus den obigen AWF und dem LOI 100, der einer Kumulation aller oben genannten Attribute entspricht. Dies ist im Anhang F zu finden.

Der erforderliche LOD des oder der Grundlagenmodelle ergibt sich, wie für AWF 1 dargestellt zu LOD 100 oder 200.

4.3.3 Entwurfsplanung (Leistungsphase 3)

Als Ziel dieser Leistungsphase ist festgelegt, dass am „Ende der Planungsstufe Entwurfsplanung [...] Entwurfsunterlagen vorliegen [müssen], damit der Straßenbaulastträger die grundsätzliche technische Machbarkeit und rechtliche Durchführbarkeit beurteilen sowie die haushaltsrechtliche Genehmigung erteilen kann“ (RE 2012, S. 15). Zur Bestimmung der erforderlichen LODs dieser Leistungsphase, soll wie oben für jeden relevanten AWF festgestellt werden, ob ein LOD und falls ja, welcher LOD gewählt werden muss. Der LOI 100 beziehungsweise die Informationen werden aus Leistungsphase 2 übernommen und um mögliche neue Informationen erweitert.

AWF 3 - Visualisierungen

LOG: Die Visualisierung soll mit dem maximalen LOD der anderen AWF durchgeführt werden, da sich bei der Wahl eines höheren LOD zum einen ein erhöhter Modellierungsaufwand ergibt und zum anderen die Visualisierung den Interessenten ansonsten einen falschen Planungsstand suggerieren könnte.

LOI: keine zusätzliche Attribuierung notwendig.

Der LOD des AWF 3 wird durch den gewählten LOD der Leistungsphase 3 gewählt.

AWF 4 - Bemessung und Nachweisführung

LOG: Orientiert sich an erforderlichen Nachweisen und Bemessungen: Modellierung von Lärmschutzeinrichtungen in ungefährender Lage (Immissionstechnische Untersuchungen), Querneigungen von Fahrstreifen und Banketten (Wassertechnische Untersuchung, Entwässerung) und Schichtaufbau (Bemessung des Oberbaus (RStO 12)). Darüber hinaus erfolgt die Modellierung der geplanten Fahrstreifenbreite (Bemessung und weitere Nachweise), die nachrichtliche Darstellung von Markierungen auf der Fahrbahn ist möglich und Sichtfelder werden analysiert. Die Anforderungen können durch Elemente des LOG 200 nach der DEGES erfüllt werden, die Vordimensionierung der Bauteile und Abmessungen steht im Vordergrund des AWF 4 in LPH 3.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen, stark abhängig von umzusetzenden Nachweisen beziehungsweise Bemessungen für den AWF:

- beabsichtigte Straßenklasse
- Belastungsklasse
- Schwerlastverkehrsanteil

- Prognosebelastungen
- Höchstgeschwindigkeiten
- Regenspende, -häufigkeit, Abflussbeiwerte, Rate der Versickerung, Drosselabfluss
- ggf. Hinweise, ...

AWF 5 - Koordination der Fachgewerke

Keine Anforderungen an LODs

AWF 7 - Erstellung von Entwurfsplänen

Die Planunterlagen *Vorentwurf* beinhalten Übersichtskarte, Übersichtslageplan, Übersichtshöhenplan, Lageplan, Höhenplan, ggf. Lageplan der Immissionsschutzmaßnahmen, ggf. Lageplan der Entwässerungsmaßnahmen und Pläne über Landschaftspflegerische Maßnahmen. Die hierfür erforderlichen Maßstäbe betragen im detailliertesten Fall 1 : 5 000 für Lagepläne und 1 : 500 für überhöhte Höhen im Höhenplan. Im Vordergrund der Planungsstufe stehen die weitere Detaillierung der verfolgten Varianten und deren technische Gestaltung. Die Fahrbahn wird mit Fahrstreifenaufteilung und potentielle Sichthindernisse mit ungefähren Ausmaßen modelliert. Darüber hinaus werden beispielsweise Entwässerungseinrichtungen mit deren Hauptabmessungen modelliert und Anlagen der Rückhaltung und Reinigung des Straßenoberflächenwassers dargestellt. Regelquerschnitte werden als Pläne im Maßstab 1 : 50 abgeleitet und enthalten Regelneigungen, die Abmessungen und Entwässerungseinrichtungen. Die erforderlichen Modellelemente müssen zur Umsetzung des AWF 7 mindestens einen LOG 200 aufweisen, um den vordimensionierenden Charakter der generierten Planunterlagen zu ermöglichen.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Widmung/Umstufung/Einziehung der neuen Trasse (Baustraßen, Bundesstraße, Autobahn, Umstufung Bundesstraße zu Autobahn, etc.)
- Eigenschaften von Lärmschutzeinrichtungen (passiv oder aktiv)
- Status der Trasse (Vorzugsvariante, etc.)
- Angaben zu Wildschutzzäune, Blendschutz und andere Einrichtungen
- Höhen und Dimensionen der Entwässerungseinrichtungen
- Querneigung und Krümmung der Fahrbahn
- ggf. Hinweise, ...

AWF 8 - Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung

LOG: Darstellung von Arbeitsstreifen und anderen voraussichtlichen bauzeitlichen Arbeitsschutzmaßnahmen (Abstandsflächen, etc.) durch Flächen oder Volumenkörper in grober Lage und Abmessung und daher als Elemente des LOG 200.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Mindest- bzw. Höchstmaße
- Flächentyp/Art der Maßnahme
- Name der Bezugsrichtlinie
- Risikobehaftete Tätigkeiten in Bezug auf des Modellelement
- ggf. Hinweise, ...

AWF 9 - Planungsfreigabe

Keine eigenen Anforderungen an die LODs

AWF 10 - Kostenberechnung

Die Kostenberechnung „Kostenberechnung dient als eine Grundlage für die Entscheidung über die Entwurfsplanung“ (AKVS, 2 - Seite 16) und erfolgt durch eine weitere Untergliederung der Hauptgruppen 1 - 9.

LOG: Die weitere Untergliederung der Hauptgruppen bedingt eine Aufteilung in Elementtypen, diese müssen entsprechend als einzelne Bauteile modelliert werden.

LOI: Attribuierung der Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- (Hauptgruppen wie in LPH 2)
- jeweils zutreffende Untergliederung der Hauptgruppen gemäß AKVS für jedes Modellelement

AWF 12 - Terminplanung der Ausführung

LOG: Erstellung eines Bauablaufmodells, das auf konzeptioneller Ebene den Bauablauf zum Terminplan ergänzend darstellt. Dabei sollen die wichtigsten Meilensteine mit geringer Detaillierung im Modell gezeigt werden können. Die Struktur beziehungsweise die Teilbarkeit des Modells (beispielsweise ein durchgehender Oberbau, der in mehreren Bauphasen (nicht Erstellung von Schichten!) erstellt wird) muss in etwa den einzelnen Bauabschnitten oder Bauphasen entsprechen. Die Verwendung einfacher LOG 100 Modellelemente reicht aus, um die konzeptionelle Planung der Termine zu unterstützen.

LOI: Attribuierung der jeweiligen Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Meilensteine als Datumsangabe ermöglichen Aus- und Einblenden von zentralen Bauabschnitten zu wichtigen Meilensteinen
- ggf. Hinweise, ...

Zusammenfassung:

Aus den oben dargestellten LODs der jeweiligen Anwendungsfälle ergibt sich folgendes Fazit für die Leistungsphase 3. Der hier zu verwendende LOD 200 der Entwurfsplanung setzt sich zusammen aus dem LOG 200 als gemeinsame Mindestanforderung der obigen AWF und dem LOI 200, der einer Kumulation aller oben genannten Attribute und den bereits bestehenden Attributen der vorangegangenen Leistungsphasen entspricht. Dies ist im Anhang F zu finden.

4.3.4 Ausführungsplanung (Leistungsphase 5)

Die Ausführungsplanung schließt mit dem Ausführungsentwurf beziehungsweise dem Bauentwurf zur bauaufsichtlichen Freigabe ab, Auflagen und Regelungen aus dem Planfeststellungsbeschluss werden in die Unterlagen der Ausführungsplanung eingearbeitet, dabei werden alle fachspezifischen Anforderungen berücksichtigt (Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (AHO) und Bundesingenieur Kammer 2013). Daraufhin kann, den geltenden Vorschriften entsprechend, die Ausschreibung erfolgen.

AWF 3 - Visualisierungen

LOG: Die Visualisierung soll mit dem maximalen LOD der anderen AWF durchgeführt werden, da sich bei der Wahl eines höheren LOD zum einen ein erhöhter Modellierungsaufwand ergibt und zum anderen die Visualisierung den Interessenten ansonsten einen falschen Planungsstand suggerieren könnte.

LOI: keine zusätzliche Attribuierung notwendig.

Der LOD des AWF 3 wird durch den gewählten LOD der Leistungsphase 5 gewählt.

AWF 4 - Bemessung und Nachweisführung

LOG: Falls sich Daten geändert haben, die der ursprünglichen Bemessung zugrunde lagen, beispielsweise durch lange Planungsphasen, ergibt sich die Notwendigkeit zur Nachbemessung. Modellelemente müssen der Umsetzung der abschließenden

Bemessungen und Nachweisen genügen und dafür in ihrer Dimension, Lage und Ausrichtung exakt modelliert sein.

LOI: bisherige Attribute aktualisieren, ggf. Hinweise, ...

AWF 5 - Koordination der Fachgewerke

Keine Anforderungen an LODs

AWF 6 - Fortschrittskontrolle der Planung

Keine Anforderungen an LODs

AWF 8 - Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung

LOG: Darstellung von Arbeitsstreifen und anderen voraussichtlichen bauzeitlichen Arbeitsschutzmaßnahmen (Abstandsflächen, etc.) durch Flächen oder Volumenkörper in genauer Lage und Abmessung und daher als Elemente des LOG 300. Grund hierfür liegt insbesondere darin, durch einen zu geringen LOG nicht den Eindruck zu erwecken, dass beispielsweise Mindest-Sicherheitsräume aufgrund mangelnder Genauigkeit reduzierbar wären und dass diese durch Kollisionskontrollen verlässlich überprüft werden können.

LOI: bisherige Attribute aktualisieren, ggf. Hinweise, ...

AWF 9 - Planungsfreigabe

Keine Anforderungen an LODs

AWF 12 - Terminplanung der Ausführung

LOG: Verknüpfung der Modellelemente mit den Informationen aus der Terminplanung mit großer Genauigkeit aber nicht für produktspezifische Abläufe, keine exakte Terminplanung des Bauunternehmens. Da mehr der Ort und die Existenz aller relevanten Objekte von Interesse ist und weniger exakte geometrische Formen oder Maße, stellt der LOG 200 die Modellelemente in ausreichender Genauigkeit dar.

LOI: Attribuierung der jeweiligen Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Konkretisierung der Datumsangaben für betreffende Modellelemente durch neue Zeitangaben als Meilensteine geringerer Bedeutung
- Bauzeiten
- Einbauzeitpunkt
- Termingebundenheit: bspw. Verarbeitungstemperaturen

- Terminliche Abhängigkeit zu anderen Elementen zur Risikoermittlung
- ggf. Hinweise, ...

AWF 13 - Logistikplanung

LOG: Nutzung des 4D-Modells aus AWF 12, daher gleiche Anforderung an den LOG, dementsprechend Verwendung des LOG 200.

LOI: Attribuierung der jeweiligen Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Lieferzeitpunkt
- Notwendigkeit eines Schwertransports
- Platzbedarf
- besondere Lagerbedingungen
 - keine Nässe, Frost, etc.
- Sperrzeiten, Stauzeiten, Ferienverkehr
- ggf. Hinweise, ...

AWF 14 - Erstellung von Ausführungsplänen

LOG: Die Genauigkeitsanforderungen der Ausführungsplanung bedingen beispielsweise für Knotenpunkte bei sehr großer Informationsdichte die Verwendung eines Zeichnungsmaßstabs von bis zu 1 : 100, für die freie Strecke ist dieser im Allgemeinen geringer, für Regelquerschnitte gilt der Maßstab 1 : 50. Die Ableitung von Ausführungsplänen dieser Genauigkeit erfordert für die Modellelemente der Fachmodelle eine exakte Modellierung der geometrischen Maße, Lage und Orientierung und ebenso für die Trassierung in Lage und Höhe. Herstellerspezifische Objekte werden normalerweise nicht verwendet. Der LOG 300 der DEGES setzt diese Anforderungen entsprechend um.

LOI: Standarddetails, die für die Ausführungsplanung relevant sind, können als 2D-Zeichnungen erstellt werden und müssen nicht modelliert werden. Attribuierung der jeweiligen Modellelemente mit folgenden Mindestinformationen

- Ausführungshinweise
- ggf. weitere Hinweise, ...

Zusammenfassung:

Aus den oben dargestellten LODs der jeweiligen Anwendungsfälle ergibt sich folgendes Fazit für die Leistungsphase 5. Der hier zu verwendende LOD 300 der

Ausführungsplanung setzt sich zusammen aus dem LOG 300 als kumulierte Mindestanforderung der obigen AWF und dem LOI 300, der einer Kumulation aller oben genannten Attribute und den bereits bestehenden Attributen der vorangegangenen Leistungsphasen entspricht. Dies ist im Anhang F zu finden.

4.3.5 Wie-Gebaut-Modell und dessen Weiternutzung im Betrieb

Durch die, zur mitunter mehrjährigen Planungsphase, „vergleichsweise lange Nutzungs- bzw. Bewirtschaftungsphase“ (Borrmann et al. 2015, S. 18) muss dem Betrieb eines Assets und dem damit verbundenem Betriebsmodell oder Asset-Informationsmodell besondere Bedeutung beigemessen werden.

Das Wie-Gebaut-Modell stellt den digitalen Zwilling des tatsächlich gebauten Bauwerks dar. Die Modellelemente als virtuelle Abbildungen der real verbauten Objekte sind mit verifizierten tatsächlichen Maßen, Lage und Orientierung in das BIM-Modell eingearbeitet. Die Entwicklung des Betriebsmodells erfolgt aus dem Wie-Gebaut-Modell. Informationen, die für Planung und Ausführung von hoher Relevanz waren, für den Betrieb des Infrastrukturobjekts jedoch keinen Mehrwert erbringen, werden aus dem Modell herausgelöst. Informationen, die für den Betrieb erforderlich und nützlich sind, werden, sofern noch nicht vorhanden, ins Modell eingepflegt. (ARGE BIM4INFRA2020 2019g)

Der Auftraggeber muss in den AIA festlegen, welche Informationen er für den Betrieb benötigt (ARGE BIM4INFRA2020 2019g) und muss die Umsetzung der Anforderungen in der Abnahme des Wie-Gebaut-Modells genau prüfen (ARGE INFRABIM 2018). Dabei gilt es insbesondere festzulegen, mit welchem Level of Accuracy (LOA) die Verifizierung des Bestands im Modell erfolgen soll. Für die überwiegende Mehrheit der betriebsbedingten Anwendungen des Modells, beispielsweise Gewährleistung der Funktionsfähigkeit der Straße oder bauliche Erhaltung der Verkehrsflächen (siehe Abschnitt 2.1.2 Straßenbauprojekte), wird eine metergenaue Identifizierbarkeit ausreichen, da einzelne Elemente wie Bordsteine, Verkehrszeichen oder auch Betondeckenfugen durch Angabe der Kilometrierung, Fahrtrichtung und Straßenseite eindeutig zuordenbar sind. Für den zu wählenden LOA bedeutet dies, dass entweder ein LOA 10 ausreichend ist, oder sogar ein noch gröberer UDLOA definiert werden kann. Bezogen auf größere bauliche Eingriffe in der Betriebsphase sollte ein LOA gewählt werden, der eine genaue Massenermittlung aus dem Betriebsmodell beziehungsweise dem Wie-Gebaut-Modell ermöglicht. Die Wahl des LOA sollte für diesen Fall mindestens dem

LOA 10 entsprechen, bei besonders hohen Anforderungen, beispielsweise durch naheliegende Knotenpunkte oder Ingenieurbauwerke sollte das Wie-Gebaut-Modell mit geringeren Abweichungen aufwarten, die Empfehlung lautet hier die Einhaltung des LOA 20.

Betriebsrelevante Daten können beispielsweise aus dem Bayerischen Straßeninformationssystem (BAYSIS) abgerufen werden, dort werden Informationen wie Angaben zu Straßenlänge, Fahrbahnbreite, Straßenaufbau und -zustand, Verkehrsbelastung und Verkehrssicherheit miteinander verknüpft. Im BAYSIS werden zahlreiche unterschiedlichen Informationen aus Fachbereichen mit der Geometrie des Straßennetzes als Kern untereinander verknüpft. (Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr)

4.4 Fazit

Die klare Formulierung der LODs ist eine Grundvoraussetzung für den Auftraggeber bei der Erstellung der Auftraggeber-Informationsanforderungen, die es diesem überhaupt erst ermöglicht, den Leistungsumfang, der erbracht werden soll, zu bestimmen (Fehrenbach und Jaud 2019). Die beiden Autoren Fehrenbach und Jaud (2019) stellen dazu fest, dass der LOD, aufgeteilt in geometrischen und semantischen Modellinhalt, durch die BIM-Anwendungsfälle bestimmt wird, welche in der projektspezifischen AIA angegeben werden (vgl. Fehrenbach und Jaud 2019, S. 359).

Die Bedeutung der LODs für Auftraggeber-Informationsanforderungen muss differenziert betrachtet werden. Einerseits ermöglichen sie als klare Standards und durch strikte Festlegung von Minimalanforderungen an die Modelle, eine relativ objektive Bewertung dieser Modelle und liefern daher eine Aussagekraft über die jeweilige Verwendbarkeit für verschiedene Anwendungsfälle. Für den Auftraggeber als Ersteller der AIA, können die LODs daher einen wichtigen Beitrag zur Standardisierung der BIM-Prozesse innerhalb des Unternehmens bzw. der Organisation leisten und damit von wirtschaftlicher und strategischer Bedeutung sein. Auch kann der AG die Beschaffenheit von Geometrie und Information der Asset- beziehungsweise Betreibermodelle klar quanti- und qualifizieren und legt damit überhaupt erst die Grundlage für eine effektive und effiziente Betriebsphase.

Andererseits kann der Ausarbeitungsgrad für Modellelemente auch implizit beschrieben werden. In diesem Fall lautet die LOD-Beschreibung in den AIA für einen

Anwendungsfall so, dass der Modelldetaillierungsgrad ausreichend detailliert sein sollte, um den erwarteten Output des AWF zu generieren. Da hier der Auftragnehmer im BAP die Detaillierung des Modells beschreiben wird, reduziert sich für den AG die Einflussnahme auf die LODs. Dies kann beispielsweise im Rahmen von Projekten reduzierten Umfangs und insbesondere im Falle geringer BIM-Erfahrung beim AG wirtschaftlich sein.

Um die betriebsrelevanten Daten mittel- und langfristig in die jeweiligen Datenbanken direkt übernehmen zu können, wird ein Standard benötigt, der vorgibt welche Informationen für ein Wie-Gebaut-Modell beziehungsweise Betriebsmodell mindestens in welcher Qualität gefordert werden und wie diese beispielsweise durch zusätzliche Attribute in den Modellen identifiziert werden können und so einfach weiterverarbeitet werden können.

5 Praxisbeispiel "Grundhafte Erneuerung A 92"

Im nachfolgenden Kapitel wird das Projekt „Grundhafte Erneuerung A 92“ zuerst kurz vorgestellt und die zugehörige Aufgabenstellung für die vorliegende Masterarbeit beschrieben. Anschließend erfolgt die Bearbeitung der Aufgaben in den Abschnitten *Erstellung einer AIA*, *Erstellung von Modellen für unterschiedliche Leistungsphasen* und *Überprüfung der Modelle*.

5.1 Grundlagen

5.1.1 Projektbeschreibung

Die Autobahn A 92 gilt als eine der wichtigsten Verbindungsstraßen zwischen München und dem südostbayerischen Raum und verbindet München mit Deggendorf. Auf einem Abschnitt von insgesamt 36,4 km plant die *Arbeitsgemeinschaft brenner BERNARD - Leonhardt Andrä - Prem - Froelich & Sporbeck* unter der Leitung der *brenner BERNARD ingenieure GmbH* die *Grundhafte Erneuerung zwischen der Anschlussstelle Landshut-West und Anschlussstelle Dingolfing-Ost*. Die bestehende Zementbetonfahrbahn wurde in den 1980er Jahren in einer heute nicht mehr dem Stand der Technik entsprechenden Mächtigkeit errichtet. Zur Vermeidung von altersbedingten Risiken, zur Realisierung der Maßnahme in den Bauzuständen und um für zukünftige Sanierungsarbeiten eine 4+0 Führung des Verkehrs anzustreben, sollen die Richtungsfahrbahnen erneuert und auf 12,0 m verbreitert werden. Auf einem 7 km langen Abschnitt wird aus Gründen der Leistungsfähigkeit beidseitig ein zusätzlicher Fahrstreifen ergänzt. Bisher wurden im Zeitraum von Dezember 2016 bis März 2019 die Planungsphasen 1 bis 4 nach HOAI abgeschlossen.

Das Unternehmen *brenner BERNARD ingenieure GmbH* ist Teil der international agierenden *BERNARD Gruppe* mit Niederlassungen an zahlreichen in- und ausländischen Standorten. In den Geschäftsfeldern Energie, Industrie und Verkehr & Infrastruktur werden ingenieurmäßige Beratungs-, Planungs- und Realisierungsleistungen verschiedenster Art durchführt.

5.1.2 Aufgabenstellung

Mit Blick auf den Stufenplan des BMVI, soll die Leistungsphase 5 für den Abschnitt 8 der Grundhaften Erneuerung der A 92 im Rahmen eines Pilotprojekts mit der BIM-Methode abgewickelt werden. Dafür werden zu Beginn in Gemeinschaftsarbeit zwischen der Autobahndirektion Südbayern (ABD) und der brenner BERNARD ingenieure GmbH (bBi), mit Beratung durch die *Build Informed GmbH*, Auftraggeber-Informationen anforderungen als BIM-Grundlage erstellt. Darüber hinaus soll mittels Erstellung mehrerer Modelle der Detaillierungsgrad für verschiedene Leistungsphasen veranschaulicht werden und anschließend eine Überprüfung der erstellten Modelle erfolgen.

5.2 Erstellung einer AIA für die Leistungsphase 5 (HOAI)

5.2.1 Arbeitsweise

Die Erstellung der AIA für die Leistungsphase 5 im Abschnitt 8 der A 92 wurde schrittweise in fünf Workshops mit den jeweiligen Vertretern der ABD, bBi und Build Informed vorgenommen. Durch die Teilnahme aller Projektbeteiligten konnten Inhalte und Sichtweisen des Auftraggebers (ABD), des Auftragnehmers (bBi) und des externen Beraters identifiziert und diskutiert werden.

Im ersten Workshop erfolgte die Vorstellung der anwesenden Personen, deren Erwartungen und bisheriger BIM-Expertisen der jeweiligen Personen beziehungsweise Organisationen. Als Ziele wurden die Formulierung einer AIA ausgegeben, „die der Planer tatsächlich verwenden kann“ sowie die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses über die Methoden und Inhalte der BIM-Planung. Außerdem wurden sowohl grundsätzliche Begriffsdefinitionen betrachtet als auch eine Grundlagenermittlung der bestehenden IT-Umgebung und der Notwendigkeit BIM-relevanter Schulungen der Beteiligten durchgeführt.

Im zweiten Workshop wurde die Unterteilung der AIA in die drei Kategorien OIR, AIR und PIR vorgenommen und eine initiale „Version 0“ als Grundgerüst betrachtet. Anschließend wurden mögliche strategische BIM-Ziele der ABD diskutiert, insbesondere wurde dabei festgestellt, dass zahlreiche Informationen (beispielsweise Trassierung oder Bauwerksbücher) bisher und aktuell zumeist in nicht-digitaler Form archiviert werden. Bestehende Datenbanken (beispielsweise BAYSIS oder PMS) werden manuell befüllt und gepflegt. Darüber hinaus erfolgte bereits die Identifizierung der relevanten

Anwendungsfälle, insgesamt werden sechs AWFs eingesetzt und in der AIA beschrieben.

Im dritten Workshop wurden sowohl die Strategie der Zusammenarbeit als auch die Anforderungen an die zu erstellenden Modelle konkretisiert. Im Rahmen der Zusammenarbeit wurde die Bereitstellung einer CDE und die Präzisierung der Anwendungsfälle erörtert. Die Anforderungen an die Modelle ergaben sich einerseits aus der Forderung zur Auswertbarkeit für die jeweiligen AWFs, andererseits aus der grundsätzlichen Unterteilung in Bestandsmodell, Planungsmodell und einzelne Fachmodelle. Abschließend wurden Ansätze der Qualitätssicherung thematisiert.

Für den vierten Workshop standen weitere Anpassungen der AWFs, die Festlegung der Rollen und Funktionen und die Weiterentwicklung der Qualitätssicherung auf der Agenda. Darüber hinaus wurden Inhalte für den späteren BAP definiert.

Im abschließenden fünften Workshop erfolgte die Einarbeitung weiterer gesammelter Informationen (beispielsweise Kennzahlen und BIM-Ziele) und kleinerer Änderungen. Schließlich wurden die Anforderungen an den BAP final aufgestellt und ein Resümee über die abgeschlossene Workshopserie gezogen.

5.2.2 Ergebnisse

Die vorläufige Endversion der erstellten Auftraggeber-Informationsanforderungen der Autobahndirektion Südbayern für die A 92 und zugehörige Unterlagen liegen der Arbeit als Anhang H bei.

5.2.3 Zusammenfassung und Bewertung

Die Erstellung der AIA zusammen mit der Autobahndirektion Südbayern erfolgte in Teilschritten und ermöglichte daher die kontinuierliche Entwicklung der Inhalte. Dabei konnten im Verlauf der Workshops immer konkretere Anforderungen und Wünsche formuliert werden. Das Ergebnis in Form der vorläufigen Endversion der AIA ermöglicht aus Sicht der brenner BERNARD ingenieure GmbH die Ausformulierung eines BAP als Antwort. Im Vergleich zu den Inhalten, die im Rahmen dieser Arbeit für Straßenbauprojekte in der Muster-AIA formuliert wurden, lässt sich feststellen, dass die Schwerpunkte ähnlich gewählt wurden. Der Vorschlag in der AIA, den „LOD 300“ festzulegen, wurde von der ABD bewusst gewählt. Aus Sicht des Autors fehlt hier jedoch die Angabe eines Bezugs für die LODs. Da aber darüber hinaus die Wahl des LOD implizit so erfolgen soll, dass die erforderlichen AWFs umgesetzt werden können, ist

dies als unproblematisch zu erachten. Der Auftragnehmer wird im BAP beschreiben, welche LODs zur Anwendung kommen sollen.

5.3 Erstellung von Modellen eines Trassenabschnittes für unterschiedliche Leistungsphasen

Der Modellierung der virtuellen Bauwerke wird durch die zentrale Stellung des Modells in der BIM-Methode eine hohe Bedeutung beigemessen. Ziel dieses Abschnitts ist die Erstellung mehrerer Modelle eines Teilstücks der A 92 mit der Verwendung der verschiedenen LODs aus Kapitel 4.

Dazu werden zuerst Grundlagen der Modellierung betrachtet, die für die Zwecke dieser Arbeit eingesetzte Software vorgestellt und anschließend die Vorgehensweise zur Erstellung der Modelle beschrieben. Abschließend erfolgt die Zusammenfassung mit Bewertung der Modellerstellung.

5.3.1 Grundlagen der Modellierung

Die Verfahren zur Modellierung von Körpern lassen sich in zwei Arten aufteilen, *explizite Verfahren*, die den Körper über dessen Oberfläche beschreiben und *implizite beziehungsweise prozedurale Verfahren*, die einen Körper gewissermaßen mittels Kombination verschiedener hintereinander gereihter Operationen beschreiben. (Borrmann et al. 2015)

Explizite Verfahren

Die am häufigsten verwendete Abbildungsart für 3D-Körper ist die Methode *Boundary Representation (B-Rep)*, die mittels Erzeugung einer Hierarchie für „die Elemente Körper, Fläche, Kante und Knoten“ (Borrmann et al. 2015, S. 37) die Elemente absteigend nach Dimension, also von Körper über Fläche über Kante zum Knoten ordnet, wobei jeweils gilt, dass der Körper durch Flächen definiert wird, die Flächen durch Kanten und die Kanten durch Knoten. Das Datenmodell wird für komplexe Körper erweitert, was dazu führt, dass „nahezu beliebige Körper beschrieben werden“ (Borrmann et al. 2015, S. 30) können.

Ebenfalls angewendet wird die Beschreibung von Körperoberflächen durch Dreiecksnetze. Diese Methode der *triangulierten Oberflächenbeschreibung* kann durch Verfeinern des Dreiecksnetzes gekrümmte Flächen zwar gut annähern, sie jedoch nicht exakt beschreiben. Außerdem entstehen bei dieser Art der Beschreibung

verhältnismäßig große Datenmengen. Beispiel einer Anwendung ist das Digitale Geländemodell (DGM). (Borrmann et al. 2015)

Implizite Verfahren

Das Festhalten der „Entstehungsgeschichte des modellierten 3D-Körpers“ (Borrmann et al. 2015, S. 30) wird als implizites Verfahren zur Speicherung von Geometrie bezeichnet. In der Praxis werden beide Verfahrensarten als Mischform angewandt, indem die Geometrie implizit abgespeichert wird und zugleich die Darstellung am Bildschirm über ein explizit beschriebenes Modell erfolgt. (Borrmann et al. 2015)

Das wohl bekannteste Verfahren ist die Methode *Constructive Solid Geometry (CSG)*, die mithilfe der booleschen Operationen Vereinigung, Schnitt und Differenz vordefinierte Grundkörper wie Würfel, Zylinder und Pyramide miteinander kombiniert (vgl. Borrmann et al. 2015, S. 31). Die Grundkörper können bei Bedarf durch den parametrisierten Aufbau zügig angepasst werden. Durch die Ermöglichung der Verwendung von benutzerdefinierten Objekten wurde das Funktionsspektrum deutlich erweitert und birgt sehr umfangreiche Fähigkeiten für die BIM-Modellierung. (Borrmann et al. 2015)

Weitere Verfahren, bedeutsam insbesondere im Bereich der Modelle für Straßenbauprojekte, stellen *Extrusions- und Rotationsverfahren* dar, illustriert in Abbildung 14. Grundprinzip ist hierbei das „Entlangwandern“ einer vorab definierten 2D-Struktur (vorzugsweise einer Fläche) an einem dreidimensionalen Pfad (beispielsweise eine Achse) und der Neudefinition eines Körpers durch den soeben mit der 2D-Struktur „durchwanderten“ 3D-Raum.

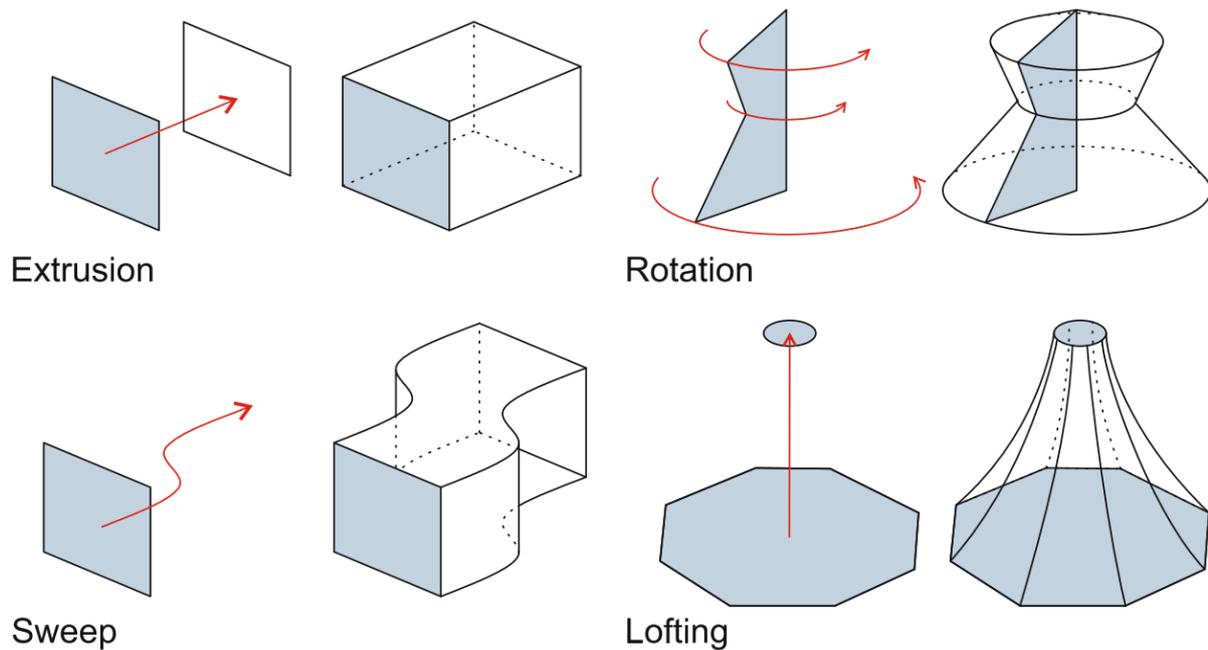


Abbildung 14: *Extrusion, Rotation, Sweep und Lofting* (Quelle: aus Borrmann et al. 2015, S. 33)

Die *Extrusion* folgt einem geraden Pfad, der *Sweep* einem gekrümmten, wobei festgelegt werden kann, ob die 2D-Fläche immer senkrecht zum (3D-)Pfad ausgerichtet wird oder die anfängliche Orientierung über den gesamten Pfad beibehält. Die *Rotation* beschreibt den Körper durch Rotieren der Fläche um eine Achse. Beim *Lofting* erfolgt - durch Interpolation zweier Nachbarprofile auf der Achse - die Definition des Körpers zwischen diesen beiden Nachbarprofilen. (Borrmann et al. 2015)

Vergleich der Verfahren

Die mögliche Verwendung von Querprofilen und die Entwicklung eines Körpers entlang einer 3D-Achse liefern für die Planung im Straßenbau umfangreiche Funktionalitäten. Borrmann et al. (2015) formulieren für die beiden oben vorgestellten Verfahren die in Tabelle 19 zusammengestellten Vor- beziehungsweise Nachteile.

Tabelle 19: Vor- und Nachteile der Verfahren (Quelle: erstellt aus Borrmann et al. 2015, S. 33)

	Vorteile	Nachteile
explizite Verfahren	bei Änderungen: <ul style="list-style-type: none"> • direktes Editieren möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Datenmengen möglich • keine exakte Beschreibung gekrümmter Körper/Flächen
implizite Verfahren	beim Datenaustausch: <ul style="list-style-type: none"> • Nachvollziehbarkeit • Modifizierbarkeit • Geringere Datenmenge 	beim Datenaustausch: <ul style="list-style-type: none"> • Zielsystem muss alle Funktionen des Ursprungssystems beherrschen (sehr komplex) bei Änderungen: <ul style="list-style-type: none"> • Sehr rechenintensiv bei komplexen Bauteilen • Ggf. Fehleranfälligkeit

Beide Methoden haben ihre „Berechtigung“ im BIM-Umfeld und sind im Datenformat der IFC abbildbar. (Borrmann et al. 2015)

5.3.2 Eingesetzte Software

Für die Erstellung der BIM-Modelle soll die Software ProVI als Aufsatz auf AutoCAD eingesetzt werden.

Die Trassierungssoftware *ProVI (Programmsystem für die Verkehrs- und Infrastrukturplanung)* wird durch die ProVI GmbH, als Tochter der Unternehmensgruppe OBERMEYER Holding GmbH, entwickelt und vertrieben. Die OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH als weiteres Tochterunternehmen ist Gründungsmitglied des buildingSMART e.V. und ist damit an der Entwicklung neutraler BIM-Standards in Deutschland beteiligt. (ProVI GmbH)

Das Programm ProVI basiert auf AutoCAD und deckt unter anderem die Bereiche der Planung für Straße und Eisenbahn ab. Dabei wird die Planung zu einem großen Teil graphisch-interaktiv mit Hilfe von AutoCAD-Zeichnungen vorgenommen, viele Module können direkt AutoCAD-Elemente generieren. Zur Erleichterung der Planung sind einerseits aktuelle Regelwerke aus den verschiedenen Fachbereichen im Programmablauf integriert, andererseits sind Elemente wie Regelquerschnitte oder beispielsweise Bordsteine oder Schienenprofile als detaillierte Vorlagen bereits implementiert. 2D-Pläne (Lagepläne, Längsschnitt und Querprofile) können in wenigen Schritten RE 2012-konform erzeugt werden. (ProVI GmbH)

Das Projekt wird vollständig in einer Datenbank abgelegt, die AutoCAD-Oberfläche wird im Grunde genommen lediglich zur Unterstützung durch Visualisierung und teilweise zur Ein- und Ausgabe von Daten benötigt.

Das Abspeichern der Geometrie erfolgt im Programm grundsätzlich implizit, die Achsen und Gradienten werden explizit durch die Abspeicherung der Bestandteile (Bogen, Gerade und Übergangselemente, etc.) gesichert. Nur zu Ausgabezwecken, also dem Export oder der Darstellung in AutoCAD, wird eine Berechnung der Geometrie durchgeführt. Diese erfolgt mittels der Querprofile der Trasse, wobei, stark vereinfacht, der Bereich zwischen zwei Querprofilen durch Lofting errechnet beziehungsweise modelliert wird. (Mair 25.11.2019)

ProVI unterstützt den Im- und Export zahlreicher Datenformate, darunter IFC, LandXML oder OKSTRA.

Das Programm AutoCAD des Unternehmens Autodesk, wird in der Version AutoCAD 2020.1.2 verwendet. Für weitergehende Informationen wird an dieser Stelle auf die entsprechende Unternehmenswebsite *autodesk.com* und Fachliteratur verwiesen.

5.3.3 Erstellung der Modelle

Im ersten Schritt werden die Vermessungsdaten des Geländes eingelesen, je nach Bedarf Bruchlinien und Schnittlinien (für den Umgriff) erstellt oder importiert und daraufhin aus diesen Grunddaten ein digitales Geländemodell (DGM) generiert. Die Abspeicherung des DGM hat für den späteren IFC-Export als Typ *Dreiecksnetz* oder *Datenart 58* zu erfolgen. Ebenfalls besteht bei Bedarf die Möglichkeit, über die Angabe von Bohrprofilen oder des Baugrunds entlang der Achse ein Baugrundmodell zu erzeugen.

Im nächsten Schritt wird die Konstruktion des Achsverlaufs in der Lage (Hoch- und Rechtswerte und Elemente nach Abschnitt 2.1.1) vorgenommen. Anschließend wird entlang der Achse ein Längsprofil erzeugt, welches die Höheninformation des beziehungsweise der zuvor generierten DGMs mit dem Verlauf der Achse verknüpft. Darauf aufbauend wird die Gradienten der Achse entwickelt.

Nachdem die Achse in ihrem dreidimensionalen Verlauf vollständig beschrieben wurde, wird mittels des sogenannten Trassenprojekts der zur Achse gehörende Trassenaufbau definiert. Hierbei erfolgt die Modellierung des Querschnittaufbaus der Straße, grob von der Achse (innen) nach außen betrachtet: Mittelstreifen,

Fahrbahn(en), Bankett, ggf. Stützwände, ggf. Maßnahmen der Entwässerung, Einschnitts- oder Dammböschung. Dabei werden auch Schichten und Schichtstärken festgelegt. Je nach LOD, dem die Modellelemente mindestens entsprechen sollen, unterscheidet sich hier die Modellierung, beispielsweise bei der Fahrstreifenunterteilung.

Der Verschneidungsbereich von DGM des Bestandsgeländes und der neuen Trasse wird in ProVI durch einen Umweg über die Funktion *TRA3DZEI* ermöglicht. Dabei wird die Trasse als DGM ausgegeben und automatisch der zugehörige Umgriff aus dem Bestand herausgelöst.

Für den IFC-Export werden Teile der Projektdatenbank als Modellkollektion **.MOK* in einem Container zusammengestellt. Für Straßenbauprojekte sind darin aktuell folgende Dateitypen potentiell vertreten: Geländemodell (Typ *Dreiecksnetz* oder *Datenart 58*), Baugrundmodell, Trasse, Kanal, Leitungen, Externes Modell, Gradiente und Achse. Diesen Bestandteilen wurden außerdem die vorgeschriebenen Farben nach RE 2012 zugewiesen.

Den einzelnen Elementen werden durch ProVI standardmäßig feste Attribute zugeordnet, dazu zählen beispielsweise Anfangs- und Endstationen von Abschnitten, Schichtdicken und gewählter Bordsteintyp. Als freie Attribute können zusätzliche Informationen, vom Anwender „frei“ definierbar, dem Element hinzugefügt werden. Dabei sind die Werte manuell einzutragen, können aber auch durch Listen oder Standardbesetzung vorgegeben werden. Die Attributinitialisierung und -ausgabe wird über die Konfigurationsdatei *proviatt.cfg* gesteuert. Um freie Attribute erstellen zu können, muss diese modifiziert werden. Ein freies Attribut wird definiert durch:

- Attributname - Name des Attributs, der ausgegeben wird
- Ausgabe - gibt an, ob das Attribut ausgegeben werden soll (0/1)
- MDG - ab welchem Modelldetaillierungsgrad wird jeweiliges Attribut ausgegeben (100/200/300)
- Attributtyp - Datentyp: 0 = Text, 1 = Ganze Zahl, 2 = Reelle Zahl, optional
- Attributeinheit - Angabe zur Einheit 0 - 10, optional
- MIN - Minimaler Wert
- MAX - Maximaler Wert
- NKS - Anzahl der Nachkommastellen für reelle Zahlen, optional.

Damit ergibt sich beispielsweise für das Attribut Belastungsklasse der Asphaltdeckschicht in der *proviatt.cfg*: `PVI_Aspphaltdeckschicht_Belastungsklasse # 1 # 200 # 2`

Die Ausgabe erfolgt durch einen IFC-Export der Modellkollektion. Dabei kann nach Bauteilgruppe (unter anderem: Oberbau, Erdbau, Ingenieurbauwerke, Entwässerung, Sonstiges) ausgewählt werden, welche Objekte exportiert werden sollen. Die einzelnen Objekte der Bauteilgruppen können also auch jeweils separat als Teilmodell erstellt werden.

5.3.4 Zusammenfassung und Bewertung

Insgesamt wurde jeweils für die Leistungsphasen 2, 3 und 5 ein Modell für die Planung, ein Modell für den Erdaushub und ein Geländemodell erstellt. Zusätzlich wird der Unterzug einer Brücke über die Autobahn in einem Modell dargestellt. Das Modell der LPH 2 soll mindestens dem LOD 100 entsprechen, das Modell der LPH 3 dem LOD 200 und das der LPH 5 dem LOD 300. Dabei konnten für alle Modelle die durch den LOG der jeweiligen Projektphasen gestellten Anforderungen erreicht werden. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Ausschnitte der Modelle.

Leistungsphase 2:

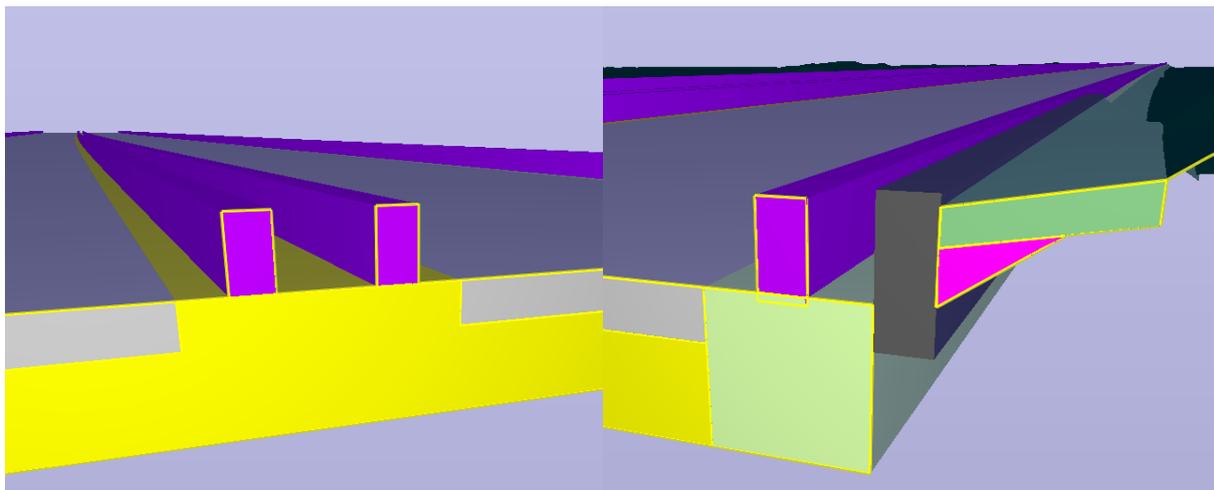


Abbildung 15: Modell der LPH 2 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)

In Abbildung 15 ist die vereinfachte Darstellung der Trasse durch LOG 100 Elemente erkennbar, die wesentlichen Elemente wurden modelliert und ermöglichen somit grundsätzlich die Wahl einer Vorzugsvariante und eine Kostenschätzung. Die lila dargestellten Fahrzeugrückhaltesysteme können in dieser Leistungsphase auch entfallen, da diese in der LPH 2 rein informativ dargestellt sind.

Abbildung 16 zeigt die Weiterentwicklung vieler Modellelemente zu LOG 200 Elementen (Schichtaufbau etc.) und die Darstellung zusätzlicher Objekte (Betonrinne, blau). Sichtbar ist im linken Bild eine Kollision der Frostschuttschicht (gelb) mit dem

Fundament der Betonrinne; hierauf wird im Rahmen der Modellüberprüfung gesondert eingegangen.

Leistungsphase 3:

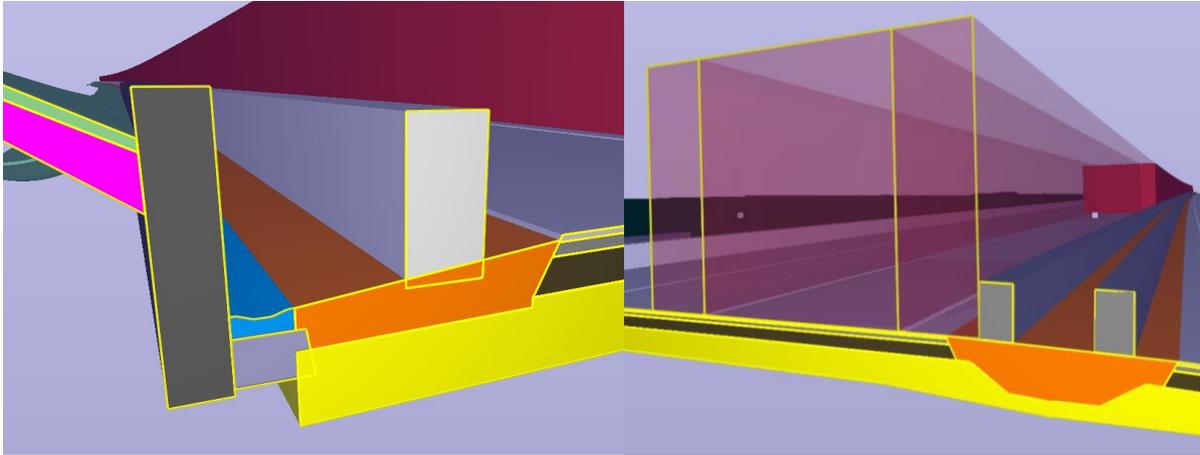


Abbildung 16: Modell der LPH 3 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)

Leistungsphase 5:

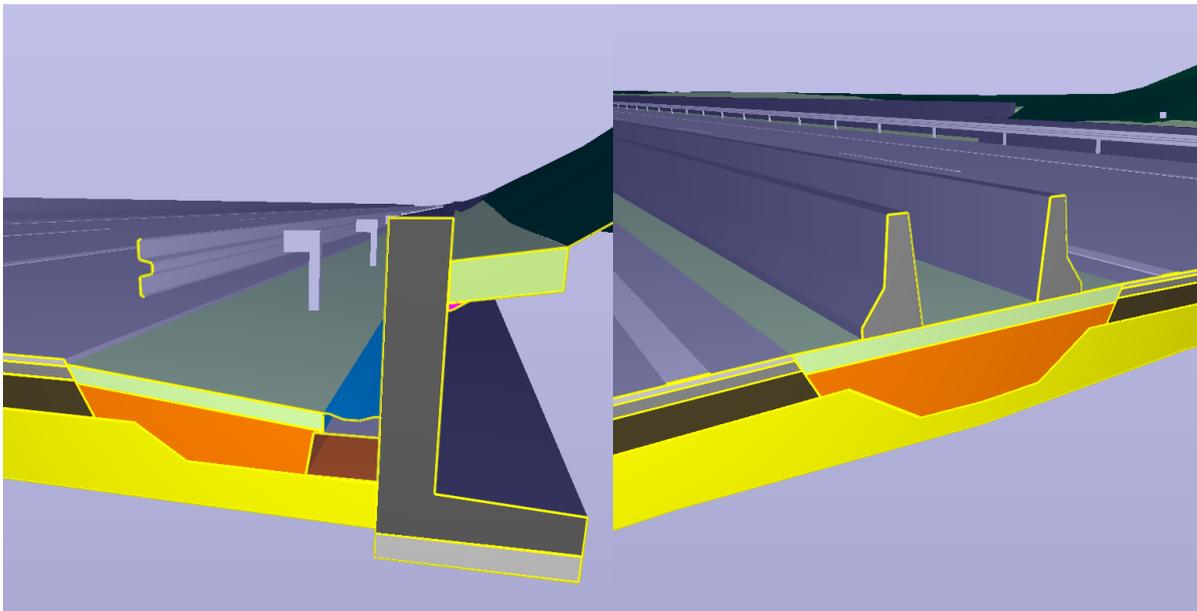


Abbildung 17: Modell der LPH 5 (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)

Abbildung 17 stellt den höchsten Detaillierungsgrad der Objekte dar, diese sollen als LOG 300 Elemente die Ausführungsplanung in Leistungsphase 5 realisieren. Dafür sind alle Fundamente und Schichten mit ihren geforderten Abmessungen dargestellt.

Dem Modell der LPH 2 wurde, wie in untenstehender Abbildung 18 zu sehen, entgegen der eigentlichen LOG-Festlegungen, für die Dammflächen eine Schicht zugewiesen. Grund hierfür ist, dass sonst der Abschluss zum Gelände für Aushubbereiche nicht sauber dargestellt werden könnte, da dort keine Oberfläche, sondern nur der

Aushubbereich als Volumenkörper definiert ist. Ein zusätzlich aufgetretener Ausgabe-fehler wird im nachfolgenden Abschnitt „Überprüfung der Modelle“ behandelt.

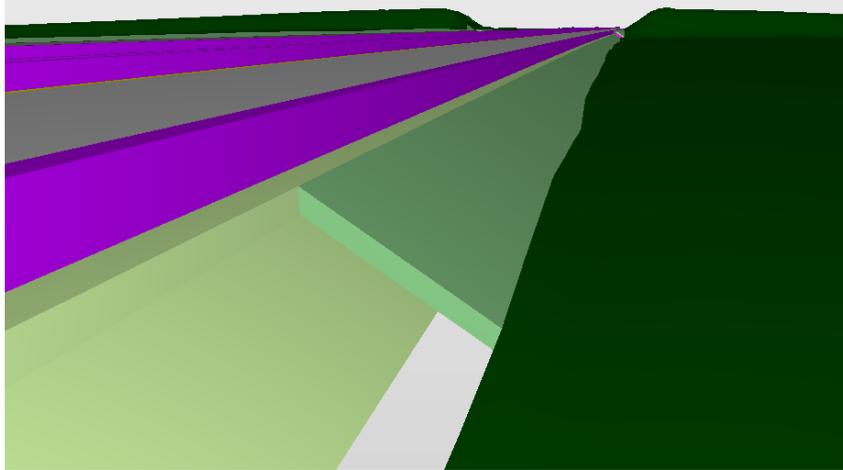


Abbildung 18: Modell der LPH 2 mit teilweise ausgeblendeter Dammlfläche (Quelle: Eigene Darstellung in SMC)

Die Durchführung der Attribuierung gestaltete sich, wie im vorhergehenden Abschnitt angedeutet, als ein unverhältnismäßig aufwändiger Prozess und wurde daher nicht für alle Modelle im gleichen Umfang durchgeführt. Für das Modell der Leistungsphase 5 wurde die Attribuierung mit zahlreichen Eigenschaften vorgenommen. Insbesondere bei der freien Attribuierung der Modellelemente mit zusätzlicher Information wie Material oder Bauteilhöhe entstehen im Rahmen der Modellierung keine echten „intelligenten“ Bezüge zwischen Informationen und Bauteilen. Dazu kommt, dass beispielsweise die Attribute für Stützmauern in ProVI Version 6.1 noch nicht unterstützt werden. ProVI kann Objekten grundsätzlich derzeit keinen LOG zuweisen, der LOD bezieht sich lediglich auf die Informationen/LOIs und bestimmt, welche Attribute im jeweiligen LOD in die IFC-Datei exportiert werden.

Auch deshalb konnten bei der Erstellung des jeweiligen Nachfolgemodells für die nächste Leistungsphase nur wenige Elemente übernommen werden. Verdeutlichen lässt sich dies am Beispiel der Distanzschutzplanken an den äußeren Querschnittsrändern. Diese werden für die LPH 2 und 3 als Sweep einer rechteckigen geschlossenen Polylinie erzeugt. Für die Leistungsphase 5 hingegen werden die Pfosten als 3D-Objekt auf dem Bankettstreifen intervallmäßig platziert, die Planke selbst wird hingegen als Sweep einer komplexeren geschlossenen Polylinie gebildet.

Die Auswirkungen der „freien Attribuierung“ auf den Informationsgehalt der Modellelemente werden auch im nachfolgenden Abschnitt betrachtet.

Exportiert wurden die Modelle als IFC4-Dateien und sind der Arbeit als digitaler Anhang beigelegt.

5.4 Überprüfung der erstellten Modelle

5.4.1 Grundlagen der Modellprüfung

Die Modellprüfung erfolgt durch den Einsatz von BIM-Prüfwerkzeugen in den erstellten Fachmodellen. Das Modell wird regelbasiert - und soweit möglich automatisiert - überprüft. Dabei können Kollisionen der Modellelemente untereinander festgestellt werden oder die Einhaltung bestimmter Normen und Richtlinien verifiziert werden (Borrmann et al. 2015). Ebenfalls können die Anforderungen aus den Modellierungsrichtlinien und für die LODs, die sich jeweils aus der AIA beziehungsweise dem BAP ergeben, auf deren Erfüllung hin kontrolliert werden. Die automatisierte Prüfung ersetzt jedoch grundsätzlich nicht die Validierung der Planung selbst. (ARGE BIM4INFRA2020 2019c)

Die ARGE BIM4INFRA2020 nennt unter anderem folgende Punkte als Gegenstand der Prüfung (vgl. ARGE BIM4INFRA2020 2019c, S. 12):

- Visuelle Prüfung
- Vollständigkeit, Redundanzen, Korrektheit: Hierarchie, Klassifikation und Attribubierung, Attributwertebereiche
- Verwendung der korrekten geometrischen Repräsentationen (Extrusionen, B-Rep etc.)
- Konsistenz von Modell und Leistungsverzeichnis bzw. Mengenerchnung

Die Dokumentation der Ergebnisse der Prüfungen kann beispielsweise durch BCF-Dateien realisiert werden (ARGE BIM4INFRA2020 2019c) oder in standardisierter Berichtform. Hierzu bietet sich die Verwendung von Vorlagen an; solche finden sich beispielsweise in den BIM-Unterlagen der DEGES (DEGES 2019d, 2019e).

5.4.2 Eingesetzte Software

Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit soll die Software *Solibri Model Checker (SMC)* des finnischen Unternehmens Solibri Inc. zum Einsatz kommen. Durch den Einsatz des SMC können BIM-Modelle regelbasiert überprüft werden, Konflikte identifiziert und Berichte generiert werden. Die anzuwendenden Regeln können vielfältig angepasst und individualisiert werden. (Solibri Inc. 2018)

Der SMC (verwendete Version Build-Nummer 9.9.6.8) ermöglicht unter anderem die Visualisierung von Modellen, die Zusammenführung mehrerer IFC-Modelle und die Auswertung der Mengen und Informationen. (Solibri Inc. 2019)

Die bei der Anwendung der Regelsätze erkannten Probleme können mit Angabe des Ortes, der beteiligten Modellelemente und einer oder mehreren festgelegten Kamerapositionen erfasst werden und anschließend per BCF oder beispielsweise als PDF-Bericht an die verschiedenen Adressaten übermittelt werden.

5.4.3 Überprüfung der Modelle

Zum Einstieg ergeben sich bei der Überprüfung der Modelle grundsätzlich zwei manuelle Methoden. Die erste Methode stellt die visuelle Kontrolle im SMC durch Zoom, Pan und Rotieren der Ansichten dar. Ebenso können beliebige Flächen als Schnittebenen angewählt werden. Als zweite Möglichkeit lassen sich in ProVI mittels der AT-TROUT-Funktion die Attribute aller Objekte als CSV-Datei ausgeben. Anhand dieser Daten kann überprüft werden, ob und wie die Attribute ausgefüllt sind.

Zur automatisierten Kontrolle der Attribute im SMC werden Regeln erstellt, die zum einen das Vorhandensein eines Inhalts und zum anderen auch den Wertetyp, also Text, Zahlen (numerisch) oder beispielsweise Datum, bewerten. Abzufragende Eigenschaften sind exemplarisch in Abbildung 19 dargestellt.

Eigenschaftensets				
Komponente	Eigenschaftenset	Eigenschaft	Wert ist vorhanden	Wertbedingungen
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	MSS1_Teilmodell	Muss vorhanden sein	X = *
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	MSS2_Klassifizierung	Muss vorhanden sein	X = *
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	MSS3_Stationierung	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	MSS4_Lage_zur_Achse	Muss vorhanden sein	X = *
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	MSS5_lfd_Nummer	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_Material_Baustoff	Muss vorhanden sein	X = *
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_LOG	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_LOI	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_Kostengruppe_E1_DIN276	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_Kostengruppe_E2_DIN276	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_Kostengruppe_E3_DIN276	Muss vorhanden sein	
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	PVI_POS_STLB	Optional	X = *
Beliebige	PSet_ProVIAttribute	creationDate	Muss vorhanden sein	

Abbildung 19: Erstellung von Eigenschaftensets im SMC (Quelle: Solibri Model Checker)

Ähnlich erfolgen die Kollisions- oder Abstandsprüfungen für die Modellelemente. Nach Auswahl der entsprechenden Regel werden die betreffenden Objekte durch Filter in

die Prozedur aufgenommen, anschließend wird diese durchgeführt, beispielsweise durch Kontrolle des Mindestabstands der Betongleitwände zum Sicherheitsraum der Fahrbahn. Abbildung 20 zeigt die Konfiguration einer Prüfregel.

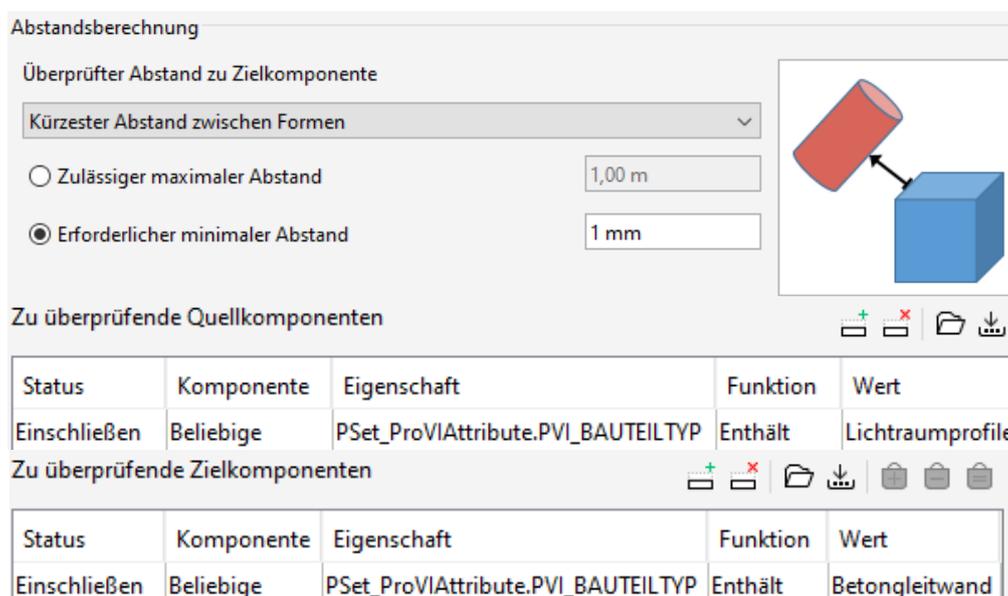


Abbildung 20: Konfiguration einer Prüfregel im SMC (Quelle: Solibri Model Checker)

Zur Kollisionsprüfung beziehungsweise zur Prüfung auf geometrische Überschneidung von Modellelementen soll der LOA 20 (siehe Abschnitt 4.1.5) als Anforderung an die Messgenauigkeit herangezogen werden. Aus dem LOA 20 ergibt sich eine Untergrenze von 50 mm und eine Obergrenze von 15 mm bei der Kollisionsprüfung. Je nach Konfiguration der Messregel werden Überschneidungen von Bauteilen erst ab 50 mm beziehungsweise 15 mm Überschneidungslänge als eine solche identifiziert. Für die Modelle der Leistungsphasen 2 und 3 wird die Untergrenze als zweckdienlich angesehen, für die Leistungsphase 5 soll die Obergrenze anvisiert werden.

5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die Ergebnisse der automatisierten Modellüberprüfung sind wie für alle Arten von Untersuchungen grundsätzlich nur aussagekräftig, wenn die Prüfung valide ist, also die verwendeten Regeln so definiert sind, dass auch tatsächlich die korrekten Zusammenhänge untersucht werden. Für Hochbauobjekte bietet der SMC zahlreiche Standardroutinen an, die nach Bedarf eingesetzt werden können.

Bei einer visuellen Untersuchung wurde für das Modell der Leistungsphase 2 festgestellt, dass für die Bankette einige kleinere Elementstücke nicht ausgegeben wurden. Abbildung 21 zeigt eine lückenhafte Stelle. Dieser Fehler konnte auch vom ProVI-

Support nicht behoben werden und trat unabhängig von der Verwendung unterschiedlicher Berechnungsroutinen oder -intervallen auf.

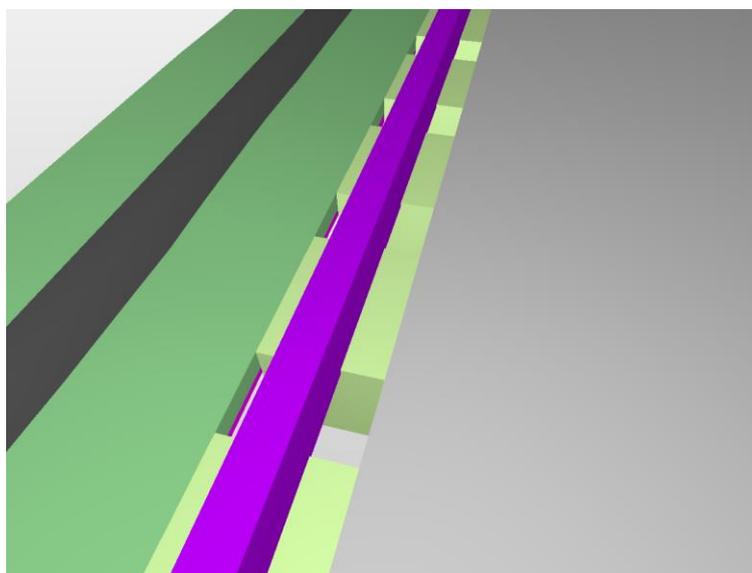


Abbildung 21: Lücken im Bankett (Quelle: Eigene Darstellung in Solibri Model Checker)

Die Modelle der LPH 3 und 5 wiesen diese Art Fehler nicht auf. Nach Abschluss der visuellen Prüfung wurde die automatisierte Prüfung durchgeführt.

Ein größere Schwierigkeit der Untersuchung ergab sich für die IFC-Exporte aus ProVI insbesondere dadurch, dass der SMC die Modellstruktur als Gebäude zu interpretieren versucht und die einzelnen Bauteiltypen, wie in Abbildung 22 durch die Symbole gezeigt, als dessen Geschosse identifiziert. Deshalb werden keine logischen Bezüge der Bauteiltypen beziehungsweise Schichten zueinander hergestellt, und Standardroutinen beziehungsweise -regeln können nicht angewandt werden. Auch die, einem Infrastrukturprojekt zumindest ähnliche Auswahlmöglichkeit „Disziplin Landschaft“ verschaffte keine Lösung.

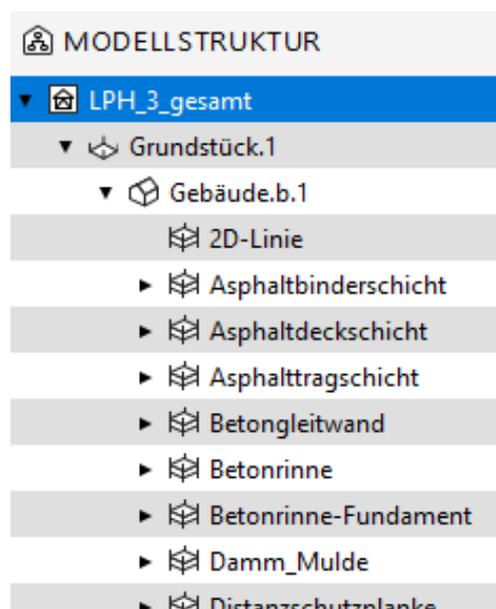


Abbildung 22: Modellstruktur im SMC für die erstellten Modelle (Quelle: erstellt in Solibri Model Checker)

Zur automatisierten Überprüfung der Modelle wurden verschiedene Regel-Sets aufgestellt, die dann auf das Modell angewandt wurden. Hierfür erfolgte unter anderem die Kollisionsprüfung für Stützmauern, Fundamente (sofern vorhanden), Frostschutzschichten und Sicherheitsräume. Als Parameter wurden für die Modelle der LPH 2 und

3 wie oben beschrieben die Untergrenze des LOA 20, für die LPH 5 die Obergrenze eingestellt. Die Möglichkeit, eine Volumentoleranz zu verwenden, muss genau abgewogen werden, da für Erdmassen mehrere Kubikmeter ein verhältnismäßig kleines Volumen darstellen können, für Fundamente oder Einrichtungen der Entwässerung jedoch schon wesentlich geringere Mengen als schwerwiegende Kollision gewertet werden müssen.

Dabei wurde insbesondere die vorangehend erwähnte Kollision der Frostschutzschicht mit einem Rinnenfundament im Modell der LPH 3 aufgedeckt. Für diesen Fehler ist zu prüfen, ob lediglich die Massenermittlung gestört wird, oder ob beispielsweise die Mindestdicke der Frostschutzschicht unterschritten wird. Im Falle der Unterschreitung sollte die Korrektur des Modells noch in derselben Leistungsphase vorgenommen werden, ansonsten kann die Korrektur auch in der Folgephase erfolgen, wenn für die Ausführungsplanung die exakten Massen ermittelt werden sollen. Für die in den Prüfungsberichten gezeigten Anomalien von einigen wenigen Erdauftragskörpern sowie den Fehlstellen in den Bankettkörpern wird vermutet, dass diese beim Export durch fehlerhafte Berechnungen entstehen. Diese Vermutung wird durch die korrekte Darstellung der jeweiligen Elemente in der Autorensoftware bestärkt.

Die Berichte über die Ergebnisse der Modellprüfung finden sich im Anhang J in digitaler Form. Dabei wurde auch ein Dokument erzeugt, das die Möglichkeit zeigt, eine Komplikation umfangreich mit Kommentaren und Bildausschnitten anzureichern.

Grundsätzlich müssen alle Prüfungsergebnisse stets kritisch hinterfragt werden und auf deren Validität hin untersucht werden.

5.5 Fazit

Für das Praxisbeispiel Grundhafte Erneuerung der A 92 wurde in diesem Kapitel die Erstellung einer AIA für die Leistungsphase 5 beschrieben, sowie die Erstellung und Prüfung verschiedener Modelle vorgenommen.

Die Erstellung der AIA von bBi mit der ABD erfolgte durchweg partnerschaftlich und im produktiven fachlichen Austausch. Dabei war die Kombination aus Bauherren- und Auftragnehmerseite in jeder Hinsicht bereichernd und lieferte wertvollen Input. Als Ergebnis wurde eine vorläufige AIA erstellt, die es bBi ermöglicht, mit, nach Ansicht der Beteiligten vertretbarem Aufwand, einen qualitativ und quantitativ adäquaten BAP zu

erstellen und gleichzeitig eine klare vertragliche Basis für die BIM-Ausführungsplanung schafft.

Die Modelle konnten entsprechend den Anforderungen der LODs erstellt werden und erfüllen vor allem hinsichtlich des geometrischen Detaillierungsgrades die Anforderungen weitestgehend. Die mit ProVI erzeugten Modelle weisen nur eine sehr geringe Anreicherung mit Beziehungen oder Abhängigkeiten der Elemente untereinander auf. Auch wurden bei der Modellüberprüfung teilweise Modellelemente - vor allem Freiformen als Erdauftrag - detektiert, die so eigentlich nicht existieren dürften und offensichtlich fehlerhaft berechnet oder andernfalls fehlerhaft modelliert wurden.

Die Genauigkeit des Bestandsmodells beeinflusst in hohem Maße die Genauigkeit der Fachmodelle an den Projekträndern. Dies betrifft einerseits die Modellierung selbst, andererseits aber vor allem die Grundsätzlichkeit der Planungsprinzipien. Wenn beispielsweise in ein, als ebene Fläche abstrahiertes, Gebiet eine Straße geplant wird, wird diese Planung eine hohe Ungenauigkeit aufweisen, da die Grundlage eine hohe Abweichung von der Realität aufweist.

Kritisch zu sehen ist das Maß an semantischen Informationen und die Art und Weise, wie diese an die Modellelemente gelangt. Im Rahmen der Arbeit konnte keine automatisierte Arbeitsweise ausfindig gemacht werden, die beispielsweise den Modelstruktur Schlüssel, für die Modelle in fünf Einzelattribute aufgeteilt, zuverlässig befüllt.

Das Maß an festgestellten Kollisionen ist überschaubar; dies konnte für die Modelle insbesondere verbessert werden, indem die Berechnungsintervalle deutlich verkleinert wurden. Dadurch ergaben sich kollisionsärmere Modelle, allerdings auf Kosten deutlich erhöhten Speicherbedarfs für die Dateien.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Arbeit wurden zuerst Grundlagen für Straßenbauprojekte sowie für die Methode BIM allgemein und für Infrastrukturprojekte vorgestellt.

Anschließend wurden Auftraggeber-Informationsanforderungen betrachtet und sowohl existierende Muster, als auch AIAs aus realen Projekten untersucht und verglichen. Der Status Quo ermöglicht aus Sicht dieser Arbeit das Erreichen des Leistungsniveau 1 ab dem Jahr 2020. Die breite Einführung maschinenlesbarer AIAs kann Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Auf den Status Quo aufbauend erfolgte der Entwurf einer Muster-AIA für Straßenbauprojekte und daraufhin die vertragliche Einordnung von AIAs inklusive der Antwort eines Unternehmens. Hierbei wurde festgestellt, dass AIAs stets sehr spezifisch auf die Bedürfnisse der jeweiligen Organisation ausgerichtet sein müssen. Die Antwort des Unternehmens auf eine AIA hängt stark von der präferierten Vertragskonstellation des Auftraggebers ab und beinhaltet meist die Erstellung eines BAPs, in dem das „Wie“ aus Sicht des Auftragnehmers als Antwort auf die „Was“-Festlegungen der AIA formuliert wird.

Im Anschluss wurden LOD-Konzepte untersucht. Die LODs stellen für die Definition und die Standardisierung der Modellinhalte ein zentrales Mittel dar und sind deshalb auch für AIAs von großer Bedeutung. Nur bei kongruenten Vorstellungen der Projektbeteiligten über Struktur, Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten der Modelle, kann der Projekterfolg erzielt werden. Festgelegte LODs schaffen genau diese Kommunikationsgrundlage und ermöglichen in der AIA demnach eine präzise Formulierung des Auftraggebers beziehungsweise des Auftragnehmers gegenüber Subunternehmern. Umgesetzt wurden die Untersuchungen in dieser Arbeit durch den Vorschlag eines LOD-Konzepts für Modelle verschiedener Leistungsphasen. Dieser orientiert sich stark am LOD-Konzept der DEGES, zwingt die LODs aber nicht starr in Leistungsphasen, sondern wählt den LOD für jede Leistungsphase in Abhängigkeit zu den tatsächlich umzusetzenden Anwendungsfällen.

Die Umsetzung der theoretischen Hintergründe und Konzepte erfolgte anhand des Straßenbauprojekts „Grundhafte Erneuerung A 92“ mit der Autobahndirektion Südbayern als Auftraggeber. Durch das Verfassen einer AIA für die Leistungsphase 5, die Erstellung mehrerer Modelle mit unterschiedlichen Detaillierungsstufen und deren

Überprüfung wurden einige Elemente der Umsetzung von BIM-Projekten durchgeführt. Die tatsächliche Qualität der AIA lässt sich erst im zukünftigen Projektverlauf feststellen, grundsätzlich entspricht sie inhaltlich dem, was im Rahmen dieser Arbeit für AIAs bezüglich Straßenbauprojekten vorgeschlagen wurde. Die erstellten Modelle erfüllen in geometrischer Hinsicht die Anforderungen, weisen jedoch bezogen auf die semantische Detaillierung einige Schwächen auf. Dies ließ sich auch bei der Überprüfung der Modelle feststellen, da hier die Elemente, insbesondere bezogen auf Beziehungen oder Abhängigkeiten untereinander, wenige Informationen beinhalteten. Grundsätzlich ist hier für zukünftige Projekte noch stärker auf die Möglichkeiten und Fähigkeiten verschiedener Softwareprodukte einzugehen, sowohl für die Autorensoftware, als auch für die Prüfsoftware für Straßenbau-Modelle. Inwiefern also die softwaretechnischen Möglichkeiten der Modellerstellung für Infrastrukturprojekte Verbesserungsbedarf aufweisen, sollte im Rahmen weiterer Untersuchungen erforscht werden.

Die in den kommenden Monaten voraussichtlich veröffentlichten Regelwerke, darunter der *VDI 2552 Blatt 10 - Entwurf* für AIA und BAP, sowie die fortschreitende Entwicklung und Erweiterung des IFC-Schemas, insbesondere durch IFC-Road, werden die Standardisierung der BIM-Methode für Straßenbauprojekte stark vorantreiben. Welche Rolle hierbei die Autobahn GmbH einnehmen wird, bleibt abzuwarten.

Literaturverzeichnis

PAS 1192-2:2013. Online verfügbar unter <http://www.hfms.org.hu/web/images/stories/PAS/PAS1192-2-BIM.pdf>, zuletzt geprüft am 30.09.2019.

VDI 2552 Blatt 4 Entwurf, Oktober 2018.

E DIN EN ISO 16739-1:2019-09, September 2019.

VDI 2552 Blatt 2 Entwurf, Juni 2018.

VDI 2552 Blatt 3, Mai 2018.

DIN EN ISO 16739:2017-04, April 2017.

E DIN EN 17412:2019-07, Juli 2019.

DIN EN ISO 19650-1:2019-08, August 2019.

DIN EN ISO 19650-2:2019-08, August 2019.

DIN 276:2018-12, Dezember 2018.

DIN 18205:2016-11, November 2016, zuletzt geprüft am 14.10.2019.

AHO (2019): Leistungen Building Information Modeling - die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI. Stand: Januar 2019, 1. Auflage. Köln: Reguvis, Bundesanzeiger Verlag GmbH (Schriftenreihe des AHO).

AKVS, 2014: AKVS 2014 Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/StB/akvs.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 02.10.2019.

Amann, Julian; Borrmann, André (2015): Open BIM for Infrastructure – mit OKSTRA und IFC Alignment zur internationalen Standardisierung des Datenaustauschs. Technische Universität München (TUM). Online verfügbar unter https://publications.cms.bgu.tum.de/2015_Amann_OKSTRA.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

American Institute of Architects (AIA) (Hg.) (2013a): AIA Document E203™ - 2013. Building Information Modeling and Digital Data Exhibit. Online verfügbar unter <http://content.aia.org/sites/default/files/2016-09/AIA-E203-2013-Free-Sample-Preview.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2019.

American Institute of Architects (AIA) (Hg.) (2013b): Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents. Online verfügbar unter <http://content.aia.org/sites/default/files/2017-02/2013%20Digital%20Practice%20Documents%20Guide.pdf>, zuletzt geprüft am 21.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (Stand: 2017): Umsetzung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen. Erster Fortschrittsbericht. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Publikationen/DG/bim-umsetzung-stufenplan-erster-fortschrittsbe.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 26.08.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (Stand: 2018): Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“. AP 1.2 „Szenariendefinition“, AP 1.3 „Empfehlung“. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019a): Handreichungen Anhang: Glossar. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Glossar.pdf.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019b): Handreichungen Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019c): Handreichungen Teil 10: Technologien im BIM-Umfeld. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil10.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019d): Handreichungen Teil 2: Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019e): Handreichungen Teil 5: Muster Besondere Vertragsbedingungen BIM (BIM-BVB). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil5.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019f): Handreichungen Teil 6: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf, zuletzt geprüft am 01.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019g): Handreichungen Teil 7: Handreichung BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad (engl. Level of Development – LOD). Hg. v.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil7.pdf, zuletzt geprüft am 01.10.2019.

ARGE BIM4INFRA2020 (2019h): Handreichungen Teil 8: Neutraler Datenaustausch im Überblick. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil8.pdf, zuletzt geprüft am 01.10.2019.

ARGE INFRABIM (2018): Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau. Endbericht. Handlungsempfehlungen. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/wissenschaftliche-begleitung-anwendung-bim-infrastrukturbau-2018.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.10.2019.

Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (AHO); Bundesingenieur Kammer (2013): HOAI 2013 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2013). Textausgabe mit amtlicher Begründung. Köln: Wolters Kluwer Deutschland GmbH. Online verfügbar unter https://www.ingenieurkammer-mv.de/upload/483/1376310284_22710_14049.pdf, zuletzt geprüft am 02.10.2019.

Baldwin, Mark (2018): Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement. 1st ed. Berlin: Beuth Verlag GmbH (Beuth Innovation).

Bartley, Tom (2017): BIM for Civil and Structural Engineers. Hg. v. British Standards Institution (BSI) (BSI/UK/1054/ST/0328/EN/HL). Online verfügbar unter <https://www.certifico.com/component/attachments/download/5939>, zuletzt geprüft am 13.10.2019.

Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (Hg.): BAYSIS - Bayerisches Straßeninformationssystem. Online verfügbar unter <https://www.baysis.bayern.de/web/default.aspx>, zuletzt geprüft am 05.12.2019.

Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr: Regelwerke für die Planung von Straßen. Online verfügbar unter <https://www.stmb.bayern.de/vum/strasse/planung/regelwerke/index.php>, zuletzt geprüft am 08.10.2019.

Beckmann, Klaus J.; Hohnacker, Eberhard; Weigel, Michael; Beckedahl, Hartmut; Straube, Edeltraud; Hager, Martin et al. (2012): Verkehrssysteme und Verkehrsanlagen. In: Konrad Zilch, Claus Jürgen Diederichs, Rolf Katzenbach und Klaus J. Beckmann (Hg.): Handbuch für Bauingenieure. Technik, Organisation und

Wirtschaftlichkeit. 2., aktualisierte Auflage. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, S. 2097–2303.

BIMForum (Hg.) (Stand: 2019): Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. For Building Information Models and Data. Online verfügbar unter <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2019/04/LOD-Spec-2019-Part-I-and-Guide-2019-04-29.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2019.

Bolpagni, Marzia (2016): The Many Faces of 'LOD'. Online verfügbar unter <https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>, zuletzt aktualisiert am 19.07.2016, zuletzt geprüft am 27.09.2019.

Borrmann, André (28.09.2019): Auftraggeber-Informationsanforderungen der Landeshauptstadt München. München.

Borrmann, André; König, Markus; Hochmuth, Markus; Liebich, Thomas; Elixmann, Robert (2017): Die INFRABIM-Reifegradmetrik. In: *Bautechnik* 94 (4), S. 215–219. DOI: 10.1002/bate.201700004.

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hg.) (2015): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05606-3>.

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (2018): Building Information Modeling. Cham: Springer International Publishing.

Bradley, Alex; Li, Haijiang; Lark, Robert; Dunn, Simon (2016): BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. School of Engineering, Cardiff University. Cardiff, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

British Institute of Facilities Management (BIFM) (Hg.) (2017): Employer's information requirements (EIR) Template and Guidance. Facilities management and client operating requirements in the Building Information Modelling (BIM) process. Unter Mitarbeit von Simon Ashworth und Matthew Tucker. Online verfügbar unter <https://www.iwfm.org.uk/sites/default/files/2019-01/T161%20BIFM%20Employer%27s%20Information%20Requirements%20%28EIR%29%20FINAL.pdf>, zuletzt geprüft am 07.10.2019.

buildingSMART e. V. (2017): Neue buildingSMART-Projektgruppe "Grundlagen für AIA und BAP" gestartet. Online verfügbar unter <https://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=704>, zuletzt geprüft am 18.11.2019.

buildingSMART International (bSi): buildingSMART International Software Certification Program. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/certification/>, zuletzt geprüft am 17.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019a): BIM Collaboration Format (BCF) - An Introduction. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>, zuletzt geprüft am 15.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019b): IFC Formats. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>, zuletzt geprüft am 15.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019c): IFC Release Notes. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/>, zuletzt geprüft am 17.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019d): IFC Specifications Database. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>, zuletzt geprüft am 15.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019e): Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>, zuletzt geprüft am 15.11.2019.

buildingSMART International (bSi) (2019f): Model View Definition (MVD) - An Introduction. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/mvd/>, zuletzt geprüft am 15.11.2019.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2018): Fachthemen - Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA®). Online verfügbar unter https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-okstra.html?nn=1817946, zuletzt geprüft am 06.11.2019.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (Hg.) (2019): OKSTRA. Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen. Online verfügbar unter <http://www.okstra.de/>, zuletzt geprüft am 17.11.2019.

FStrG: Bundesfernstraßengesetz. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/fstrg/FStrG.pdf>, zuletzt geprüft am 05.10.2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Online verfügbar unter <https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/02/stufenplan-digitales-bauen.pdf>.

Bundesverwaltungsamt: Die Autobahn GmbH des Bundes. Online verfügbar unter <https://www.service.bund.de/Content/DE/DEBehoerden/D/Die-Autobahn-GmbH-des-Bundes/Die-Autobahn-GmbH-des-Bundes.html?nn=4641496>, zuletzt geprüft am 23.11.2019.

Centre for Digital Built Britain (CDBB) (Hg.) (2017): Employer's Information Requirements. Core Content and Guidance Notes. Draft. Online verfügbar unter https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/Framework_EIR_Core_Content_and_Guidance__V0.7_170329.pdf, zuletzt geprüft am 28.10.2019.

Cheng, Jack C.P.; Lu, Qiqi; Deng, Yichuan (2016): Analytical review and evaluation of civil information modeling. In: *Automation in Construction* 67, S. 31–47. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.02.006.

DB Netz AG (Hg.) (2017): Roadmap BIM-Anwendungsfälle bei der DB Netz AG. Online verfügbar unter https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/3217216/a439c9a824a5c53a045c59a542577313/Roadmap_BIM_Anwendungsf%C3%A4lle_bei_der_DB_Netz_AG_V_1_4-data.pdf, zuletzt geprüft am 11.07.2019.

DB Station&Service AG; DB Netz AG (Hg.) (2018): BIM-Vorgaben. BIM-Methodik. Digitales Planen und Bauen. Online verfügbar unter <https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1786332/054e18a2bb1da993bd37f8680c39706c/Vorgaben-zur-Anwendung-der-BIM-Methodik-data.pdf>, zuletzt geprüft am 11.07.2019.

DEGES (2019a): BIM-Anwendungsfälle. Version 2.1. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/10_BIM-Anwendungsfaelle_V21.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019b): BIM-Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA). Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/2_BIM_AIA_Muster_V15.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019c): BIM-Leitfaden. Digitales Planen und Bauen bei der DEGES. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/1_DEGES-BIM-Leitfaden_V15.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019d): BIM-Modellprüfung. Fachkoordinator. Version 1.1. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/12_BIM-Modellpruefung_Fachkoord_V11.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019e): BIM-Modellprüfung. Gesamtkoordinator. Version 1.1. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/13_BIM-Modellpruefung_Gesamtkoord_V11.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019f): LOD-Konzept. Anhang 01: Level of Geometry. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/5_BIM-LOD-Konzept_Anhang-1_V13.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019g): LOD-Konzept. Anhang 02a: Level of Information (Strecke und Umwelt). Version 1.5. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/6_BIM-LOD-Konzept_Anhang-2a_V15.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

DEGES (2019h): LOD-Konzept. Grundlagen. Hg. v. Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES). Online verfügbar unter https://www.deges.de/wp-content/uploads/2019/08/4_BIM-LOD-Konzept_V15.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2019.

Department for Transport; UK Roads Liaison Group (UKRLG) (Hg.) (2016): BIM Guidance for Infrastructure Bodies. Online verfügbar unter <http://www.ukroadsliaison-group.org/en/utilities/document-summary.cfm?docid=77C08CC9-ED04-42EB-B957540CD6ED1D1F>, zuletzt geprüft am 17.11.2019.

Department of Finance (DoF) (Hg.) (2018): Employer's Information Requirements for Building Information Modelling (BIM). Template. Online verfügbar unter <https://www.finance-ni.gov.uk/publications/procurement-guidance-note-0315-building-information-modelling-bim>, zuletzt geprüft am 18.11.2019.

Fehrenbach, Andreas; Jaud, Štefan (2019): Ein Vergleich von LoD-Konzepten im Infrastrukturbau. In: Maximilian Sternal, Lucian-Constantin Ungureanu, Laura Böger und Christoph Bindal-Gutsche (Hg.): 31. Forum Bauinformatik. 11.–13. September 2019 in Berlin. Proceedings. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, S. 353–360.

Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (DVW e.V.); Runder Tisch GIS e. V. (Hg.) (2019): Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 2.0. Bühl/München: DVW - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V (DVW-Merkblatt). Online verfügbar unter https://www.rundertischgis.de/publikationen/leitfaeden.html?download=LeitfadenGeod%C3%A4sieundBIM_Onlineversion.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2019.

Graphisoft Deutschland GmbH (2019): Solibri. Kommunikation. Online verfügbar unter <https://www.graphisoft.de/solibri/kommunikation/>, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2019): Position. Autobahn GmbH des Bundes - Gestaltung der Übergangsphase bis 2021. Hg. v. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. Berlin. Online verfügbar unter

https://www.bauindustrie.de/media/documents/190830_BIVD_Broschuere_Position_RZ_web_7qwq7cy.pdf, zuletzt geprüft am 19.11.2019.

Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas (2016): BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

HDB e.V. (2019): BIM im Straßenbau. Positionspapier der Arbeitsgruppe Straßenbau im Arbeitskreis Digitalisiertes Bauen im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. Hg. v. Arbeitsgruppe Straßenbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. Online verfügbar unter https://www.bauindustrie.de/media/documents/Pos-Pap_BIM_Strassbau_VER.1.02-web-safe.pdf, zuletzt geprüft am 19.11.2019.

InformationsZentrum Beton GmbH (Hg.): Bundesfernstraßen: Dauerhafte Betondecken – störungsfreier Fernverkehr. Online verfügbar unter <https://www.beton.org/wissen/infrastruktur/bundesfernstrasse/>, zuletzt geprüft am 10.11.2019.

Kreider, Ralph G.; Messner, John I. (2013): The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses. The Pennsylvania State University. University Park, PA, USA. Online verfügbar unter https://www.bim.psu.edu/download/the_uses_of_bim.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2019.

Lehrstuhl und Prüfamf für Verkehrswegebau (2016): Betondeckensysteme. Vorlesungsskript. Technische Universität München (TUM), München.

Mair, Luis (25.11.2019): Funktionsweise ProVI. Interview mit Matthias Frei. München. Telefongespräch.

McPartland, Richard (2017): What are Plain Language Questions (PLQs)? Hg. v. National Building Specification (NBS). Online verfügbar unter <https://www.thenbs.com/knowledge/what-are-plain-language-questions-plqs>, zuletzt aktualisiert am 08.11.2017, zuletzt geprüft am 28.11.2019.

Messner, John; Anumba, Chimay; Dubler, Craig; Goodman, Shane; Kasprzak, Colleen; Kreider, Ralph et al. (2019): BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.2. Computer Integrated Construction Research Program, Penn State. University Park, PA, USA. Online verfügbar unter <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/>, zuletzt geprüft am 14.11.2019.

MT Højgaard (2017): Building Component Catalogue with LOD levels and Excel-Sheets. Hg. v. MT Højgaard. Søborg. Online verfügbar unter <https://mth.com/Knowledge/Building-Component-Catalogue-with-Level-of-Development-Specification>, zuletzt geprüft am 01.11.2019.

National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance (Hg.) (2015): National BIM Standard - United States. Version 3. Online verfügbar unter

https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_V3_2.7_LOD_Specification_2013.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2019.

Nguyen, Thi (2019): Entwicklung eines Detaillierungskonzepts für die BIM-basierte Modellierung von Massivbaubrücken. Master Thesis. Technische Universität München (TUM), München. Online verfügbar unter https://publications.cms.bgu.tum.de/theses/2019_Nguyen_Masterthesis.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2019.

Nisbet, Nicholas; East, E. William (2019): Construction Operations Building Information Exchange (COBie): Version 2.40 Update. Hg. v. National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance. Online verfügbar unter https://www.nibs.org/page/bsa_cobiev24, zuletzt geprüft am 29.11.2019.

ProCure22 (2018): Employer's Information Requirements (EIR). Hg. v. Department of Health & Social Care. Leeds. Online verfügbar unter <https://procure22.nhs.uk/wp-content/uploads/2018/07/P22-XX-XX-SP-K-EIR-001.pdf>, zuletzt geprüft am 28.10.2019.

ProVI GmbH: ProVI - Die Trassierungssoftware aus der Praxis. Online verfügbar unter <https://www.provi-cad.de/>, zuletzt geprüft am 25.11.2019.

Regierung von Oberbayern (Stand: 2019): Ablauf von straßenrechtlichen Planfeststellungsverfahren. Hg. v. Regierung von Oberbayern. Online verfügbar unter <https://www.regierung.oberbayern.bayern.de/aufgaben/planung/strassen/planfeststellung/08678/>, zuletzt geprüft am 10.11.2019.

RAA: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen.

RAL: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen.

RStO 12: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen.

RE 2012: Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE 2012), zuletzt geprüft am 07.10.2019.

Siemon, Klaus D.; Averhaus, Ralf (2018): Die HOAI 2013 verstehen und richtig anwenden. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Solibri Inc. (2018): Solibri Model Checker. so geht's. Online verfügbar unter <https://solibri-assets.s3.amazonaws.com/old-site/2018/04/Erste-Schritte-v9.8.pdf>, zuletzt geprüft am 13.12.2019.

Solibri Inc. (2019): Solibri. Online verfügbar unter <https://www.solibri.com/>, zuletzt geprüft am 13.12.2019.

thinkproject Deutschland GmbH (thinkproject!) (Hg.): BIM COLLABORATION. Handbuch zu Standards und deren praktischer Anwendung. Online verfügbar unter

https://www.thinkproject.com/fileadmin/user_upload/resources/DE/BIM_Collaboration_pocket_guide_DE_web.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiWldGbFpHTTBNVGcyTkdnN-ClsInQiOiJleUd3Tjh1RVYxRTUwc1paMVE3Z3RTMIR-VUnd4aXJzTFZhUDdxQ3J0cGtORGVPaVpra1lyTiswcXIOOENNMkFZ-NExzbyt0SDFkajNYQmR2WWpMSXdRWjIObnZwZHgzZko1ZzNIMVNYWE-xyRHJ0dW5kV3NYc2l4U3NHNE1laHIVOCJ9, zuletzt geprüft am 26.09.2019.

U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) (Hg.) (2019): USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide. Document C120 [Guide] Version 3.0. Guide for USIBD Document C220TM: Level of Accuracy (LOA) Specification for Building Documentation. Online verfügbar unter <https://usibd.org/product/level-of-accuracy-loa-specification-version-2-0/>, zuletzt geprüft am 02.11.2019.

VBI (2016): BIM-Leitfaden für die Planerpraxis. Empfehlungen für planende und beratende Ingenieure. Unter Mitarbeit von Mirjam Borowietz, Matthias Braun, Andreas Brossmann, Ralf Düsphohl, Manfred Grohmann, Hans-Georg Oltmanns und Ines Prokop. Hg. v. Verband Beratender Ingenieure (VBI). Online verfügbar unter https://www.vbi.de/fileadmin/redaktion/Dokumente/Infopool/Downloads/VBI_BIM-Leitfaden_0916-final.pdf, zuletzt geprüft am 25.06.2019.

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (Hg.) (Stand: 2019): Agenda. Building Information Modeling VDI-Richtlinien zur Zielerreichung. Januar 2019. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/ueber_uns/fachgesellschaften/GBG/dateien/Bauen-und-Gebaeudetechnik-Bautechnik-Agenda-Building-Information-Modeling.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2019.

HOAI (10.07.2013): Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI). Online verfügbar unter https://www.hoai.de/online/HOAI_2013/HOAI_2013.php, zuletzt geprüft am 09.11.2019.

Wikipedia (Hg.) (2016): Verkehrsbauwesen. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Verkehrsbauwesen&oldid=159380709>, zuletzt aktualisiert am 04.11.2016, zuletzt geprüft am 06.11.2019.

Verzeichnis der Anhänge

Folgende Anhänge liegen der Arbeit in digitaler Form bei.

Anhang A - Leistungsbild Verkehrsanlagen HOAI

Anhang B - Anwendungsfälle

Anhang C - RIBA Plan of Work

Anhang D - LODs des Unternehmens MT Højgaard

Anhang E - Muster-AIA für Straßenbauprojekte

Anhang F - LODs für Straßenbauprojekte

Anhang G - Untersuchung allgemeiner LOD-Konzepte

Anhang H - AIA Autobahndirektion Südbayern A92

Anhang I - Modelldateien

Anhang J - Ergebnisse der Modellprüfungen

