



Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

# Definition von Modellinhalten für BIM-Modelle von Schleusenbauwerken für ausgewählte BIM-Anwendungsfälle der Planung

**Andreas Fehrenbach**

Masterthesis

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor:	Andreas Fehrenbach
Matrikelnummer:	██████████
Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. André Borrmann Genia Schäferhoff (extern, WTM Engineers GmbH)
Ausgabedatum:	17. April 2018
Abgabedatum:	17. Oktober 2018

# Abstract

Building Information Modeling (BIM) in the construction industry for infrastructure has been established in Germany by 2015. The establishment was in accordance with a roadmap provided by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. Among others the ministries publication also includes the planning and construction of ship locks. Up to now there is little experience using BIM for waterway engineering and standards made for building construction cannot be applied easily. The urgency of new solutions is shown in the fact that 50 % of ship locks in Germany were built over 50 years ago and therefore there is a great need for reconstruction.

Currently, research and experience from real projects are showing that unified guidelines and standards should be defined for the successful use of BIM. One possible definition for the geometric and semantic information depth of digital models for building construction was provided by the *BIMForum Level of Development (LOD) Specification*. The geometric input is defined as Level of Geometry (LOG) and the semantic input is defined as attributes in this thesis. During this study a concept for description of geometric and semantic input of ship lock components is developed.

After a basic description of concepts relevant to ship locks, the focus changes to the theoretical part of BIM and the description of BIM use cases developed by the German syndicate BIM4INFRA. An overview of recent research in Germany is given and discussed. The discussion aims to outline the usage of *BIMForum LOD-Spec*, the various approaches within the literature review describing the geometric input, allocating of the LOG to German construction phases, how to define attribute-tables to find the minimal amount of required attributes and the difference between LOD and LOG.

The lessons learned are used for the own development of LOG and required attributes for ship lock components. One of the findings is that the LOG should address single components, so the BIM model can contain various LOG. Furthermore, LOG should not be allocated to construction phases. The attribute-tables also address single components and allow to get the minimal amount of required attributes by connecting the BIM use cases to the various construction phases.

The concepts above are finally proven by implementing the concept on a real BIM project. The example project was made possible through cooperation with *WTM Engineers GmbH*.

Further research is recommended to expand the concept to construction and operation phases.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziele der Arbeit . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Schleusenbauwerke . . . . .	4
2.1.1	Begriffe des Schleusenbaus . . . . .	5
2.1.2	Standardisierung von Schleusenbauteilen seitens der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung . . . . .	6
2.1.3	Zustandsfeststellung der Schleusen in Deutschland . . . . .	8
2.2	Building Information Modeling . . . . .	9
2.2.1	Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur	10
2.2.2	Die BIM-Anwendungsfälle nach der ARGE BIM4INFRA 2020 . . . . .	12
2.2.3	Arten von digitalen Bauwerksmodellen . . . . .	15
2.2.4	BIM im Bestand . . . . .	17
2.2.5	BIM im konstruktiven Wasserbau in Deutschland . . . . .	17
2.2.6	Klassifikationssysteme . . . . .	18
2.3	Begriffe zur Beschreibung des Modellinhalts digitaler Bauwerksmodelle . . . . .	19
2.3.1	Die BIMForum Level of Development Spezifikation . . . . .	21
2.3.2	Unterscheidung zwischen Level of Development und Level of Detail . . . . .	23
2.3.3	Level of Geometry und Level of Information . . . . .	24
2.3.4	Internationale LOD-Definitionen - Ein kurzer Vergleich . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Aktueller Forschungsstand</b>	<b>27</b>
3.1	Elementbezogene, fachmodellbezogene und bereichsmodellbezogene Ansätze . . . . .	27
3.2	Mini (2016) – Ein LoD Konzept für digitale Bauwerksmodelle von Brücken . . . . .	28
3.3	Goldenbaum (2017) – Prüfung der Anwendbarkeit gegenwärtiger LOD-Defini- tionen auf den Straßenbau . . . . .	30
3.4	Papantonakis (2018) – Ein Konzept zur Beschreibung der Level of Detail für Tunnelbauwerke . . . . .	32

3.5	Weitere Veröffentlichungen mit relevantem Themeninhalt . . . . .	35
3.5.1	Egger et al. (2013) – BIM-Leitfaden für Deutschland . . . . .	35
3.5.2	Verband Beratender Ingenieure (2016) – BIM-Leitfaden für die Planerpraxis	36
3.5.3	Van Treeck (2016) – Abstufung des Level of Information im LoG-I-C-L- Modell . . . . .	37
3.5.4	Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) – BIM im Spezi- altiefbau . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines Konzepts zur Beschreibung der Modellinhalte für den Schleusenbau</b>	<b>41</b>
4.1	Methodik . . . . .	42
4.2	Diskussion der Verwandten Arbeiten und daraus gewonnene Erkenntnisse . .	42
4.2.1	Der Umgang mit der BIMForum LOD-Spezifikation . . . . .	42
4.2.2	Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Ansätze . . . . .	43
4.2.3	Die Zuordnung der LOG und Attribute zu den Leistungsphasen der HOAI	45
4.2.4	Das Level of Information und Attribut-Tabellen . . . . .	47
4.2.5	Die Abgrenzung der Level of Geometry zu den Level of Development .	49
4.3	Verwendete Software . . . . .	53
4.3.1	Familienvorlagen . . . . .	54
4.4	Ermittlung der benötigten semantischen Informationen mit Attribut-Tabellen	55
4.5	Struktureller Aufbau der Level of Geometry . . . . .	58
4.5.1	LOG 100 . . . . .	58
4.5.2	LOG 200 . . . . .	58
4.5.3	LOG 300 . . . . .	59
4.5.4	LOG 350 . . . . .	59
4.5.5	LOG 400 . . . . .	60
4.6	Bauteilbezogene Definition der geometrischen und semantischen Modellinhalte	60
4.6.1	Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Bohrpfählen . . . . .	60
4.6.2	Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Spundwänden . . . . .	64
4.6.3	Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Verankerungen . . . . .	67
4.6.4	Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Schleusenausrüstung . . .	70
4.6.5	Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Massivbaufachmodellen .	73
4.6.6	Attribuierung von Bestandsmodellen . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Anwendung des entwickelten Konzepts an einem Praxisbeispiel</b>	<b>77</b>
5.1	Projektbeschreibung . . . . .	77
5.2	Vorangegangene BIM-Anwendungsfälle im Projektbeispiel . . . . .	78
5.3	Bearbeitungstiefe und Auswertung hinsichtlich der bearbeiteten Anwendungs- fälle in der Vorplanung . . . . .	79
5.3.1	Attribuierung in der Vorplanung . . . . .	80

5.3.2	AwF 1 – Bestandserfassung . . . . .	82
5.3.3	AwF 2 – Planungsvariantenuntersuchung . . . . .	84
5.3.4	AwF 3 – Visualisierung in der Vorplanung . . . . .	88
5.3.5	AwF 7 – Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen . . . . .	89
5.3.6	AwF 10 – Kostenschätzung . . . . .	89
5.3.7	AwF 12 – Terminplanung der Ausführung . . . . .	90
5.4	Bearbeitungstiefe und Auswertung hinsichtlich der bearbeiteten Anwendungsfälle in der Entwurfsplanung . . . . .	90
5.4.1	Attribuierung in der Entwurfsplanung . . . . .	92
5.4.2	AwF 3 – Visualisierung in der Entwurfsplanung . . . . .	94
5.4.3	AwF 7 – Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen . . . . .	94
5.4.4	AwF 10 – Kostenberechnung . . . . .	94
5.5	Ein Ausblick auf die Genehmigungsplanung . . . . .	94
5.6	Ein Ausblick auf die Ausführungsplanung . . . . .	95
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>96</b>
6.1	Fazit zu den theoretischen Grundlagen . . . . .	96
6.2	Fazit zum aktuellen Forschungsstand . . . . .	97
6.3	Fazit zur Entwicklung des eigenen Konzepts . . . . .	99
6.4	Fazit zur Durchführung des Projektbeispiels . . . . .	100
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>101</b>
<b>A</b>	<b>Detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle nach BIM4INFRA</b>	<b>103</b>
<b>B</b>	<b>Attribut-Tabellen für ausgewählte Bauteile des Schleusenbaus</b>	<b>120</b>
<b>C</b>	<b>Digitaler Anhang</b>	<b>127</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AIA</b>	Auftraggeber-Informationsanforderung
<b>AwF</b>	Anwendungsfall
<b>BAP</b>	BIM-Abwicklungsplan
<b>BIM</b>	Building Information Modeling
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<b>BVWP</b>	Bundesverkehrswegeplan
<b>BAW</b>	Bundesanstalt für Wasserbau
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>HOAI</b>	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
<b>LOD</b>	Level of Development
<b>LOI</b>	Level of Information
<b>LOG</b>	Level of Geometry
<b>LPH</b>	Leistungsphase
<b>MDG</b>	Modelldetaillierungsgrad
<b>UWB</b>	Unterwasserbetonsohle
<b>VBI</b>	Verband Beratender Ingenieure
<b>WSV</b>	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

# 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand durch die Kooperation des *Lehrstuhls für Computergestützte Modellierung und Simulation* der *TU München* mit dem Ingenieurbüro *WTM Engineers GmbH* im Bereich Wasserbau am Standort Hamburg.

## 1.1. Motivation

Die Einführung des *Stufenplans* verpflichtet die Auftraggeber und Auftragnehmer ab Ende des Jahres 2020 zur Anwendung von BIM bei neu zu planenden Projekten im gesamten Verkehrsinfrastrukturbau im Zuständigkeitsbereich des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Damit erreicht die Digitalisierung der Baubranche ebenfalls die Projekte des Schleusenbaus an Bundeswasserstraßen.

BIM wurde in den letzten Jahren nur vereinzelt in einigen Projekten des konstruktiven Wasserbaus eingesetzt. Der Erfahrungsschatz im Schleusenbau in Bezug auf BIM ist dementsprechend als gering einzuschätzen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurde lediglich ein Pilotprojekt der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) durchgeführt; ein weiteres befindet sich in der Planung. Die Erfahrungen in Ingenieurbüros beruhen somit hauptsächlich auf internen und eigenen Pilotprojekten.

Die Forderung des *Stufenplans* nach BIM trifft auf eine ungünstige Altersstruktur der Schleusenanlagen in Deutschland, die mittelfristig eine große Anzahl an Bauvorhaben erfordert, um die Durchgängigkeit der Wasserstraßen weiterhin zu gewährleisten. Zum einen ergibt sich aus der Vielzahl an ausstehenden Projekten die Chance, BIM endlich auch im Wasserbau anzuwenden, zum anderen gilt es sich der Herausforderung zu stellen, die sich aus der Anwendung einer neuen und fremden Planungsmethode im Bereich des Wasserbaus ergibt.

Es gilt das unbestrittene Potenzial von BIM für den Entwurf, die Planung, die Ausführung und den späteren Betrieb von Schleusen zu nutzen. In Hinblick auf die Planung, verbindet der Bau einer Schiffsschleuse viele verschiedene Bereiche des Bauwesens, die von der gemeinsamen Nutzung eines digitalen Modells profitieren. Mit Sicht auf den Betrieb der Schleuse kann

das erstellte Modell zur Wartung und Inspektion genutzt werden, sodass sich mit BIM der komplette Lebenszyklus eines Bauwerks abdecken lässt.

Basis für die Einführung der BIM-Methode im Wasserstraßenbau ist jedoch eine einheitliche Kommunikationsgrundlage der am Projekt beteiligten Parteien. In Bezug auf den Informationsgehalt der digitalen 3D-Modelle erfolgt die Kommunikation unter Hinzunahme sogenannter Konzepte zur Beschreibung des geometrischen und semantischen Modellinhalts. Konzepte dieser Art stellen eine bedeutsame Kenngröße zur Bestimmung des zu erbringenden Leistungsumfanges innerhalb der BIM-Anwendung dar. Zusätzlich informieren sie den Modellempfänger über die Zuverlässigkeit der übermittelten Informationen und der daraus resultierenden Möglichkeiten zur Verwendung des BIM-Modells. Die vorliegende Arbeit setzt bei der Entwicklung eines solchen Konzeptes für Schleusenbauwerke an.

## 1.2. Ziele der Arbeit

Die Digitalisierung des Bauwesens ist ein richtungsweisender Schritt, der durch die Einführung des *Stufenplans* auch im Infrastrukturbereich vorgenommen wird. Im Mittelpunkt steht ein digitales 3D-Modell, das während der Planungsphase durch immer mehr und detailliertere Modellelemente und deren umfangreichen Eigenschaften zu einem komplexen digitalen Gebäudemodell heranwächst.

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel den zunehmenden Informationsgehalt von Elementen digitaler Bauwerksmodelle entlang des Planungsverlaufs von Schiffsschleusen in Form eines Konzepts zu definieren. Dabei soll ein Standardisierungsprozess angeregt werden, der es erlaubt in zukünftigen Projekten die Anforderungen an den Modellinhalt zielsicher festzulegen und den Modellierungsaufwand in frühen Projektphasen den Erfordernissen gerecht zu werden.

Die theoretischen Betrachtungen haben daher zum Ziel,

- die entscheidenden Faktoren zu bestimmen, die Einfluss auf den Modellinhalt ausüben,
- die Unterschiede und die Vor- und Nachteile bereits bestehender Konzepte aus anderen Bereichen des Bauens herauszuarbeiten und die Übertragbarkeit auf den Schleusenbau zu prüfen,
- neue Ansätze, unter Berücksichtigung des Gelernten zu entwickeln, mit denen sich die Anforderungen an den Modellinhalt zielsicher beschreiben lassen
- und ein Konzept mit Strukturen aufzubauen, mit dessen Hilfe die relevanten Informationen bestimmt und in einem digitalen Bauwerksmodell hinterlegt werden können.



Der letztgenannte Punkt wird durch die Anwendung des Konzepts in einem realen Projekt und unter Bearbeitung unterschiedlicher Anwendungsfälle der Planung bewertet.

Mit dem Konzept wird das Ziel verfolgt, den Modellierungsaufwand leistungsphasengerecht festzulegen, ohne dass die Vorteile einer BIM-Anwendung verloren gehen. Der Modellaufbau soll dabei modular erfolgen, sodass eine Wiederverwendbarkeit des Konzepts gegeben ist. Die Beschreibung der Informationen richtet sich auf Bohrpfahlwände, Spundwände, Verankerung, Schleusenausrüstung, Elemente des Massivbaus und von Bestandsbauwerken. Mit der Entwicklung des Konzepts wird der Blick auf die Objektplanung gelegt. Die Definitionen erfolgen dabei getrennt für die geometrische und semantische Detaillierung von Modellelementen.

## 1.3. Aufbau der Arbeit

In **Kapitel 2** werden die theoretischen Grundlagen in drei Themenschwerpunkte unterteilt, die zur Beantwortung der Fragestellung notwendig sind. Der erste Themenschwerpunkt behandelt die wesentlichen Aspekte des Schleusenbaus, um das entwickelte Konzept später in den baulichen Kontext einzuordnen. Teil Zwei greift allgemeine Informationen von BIM auf. Der Fokus wird auf BIM-Fachthemen gelegt, die den Informationsgehalt von BIM-Modellen beeinflussen. Im dritten Teil werden Begriffe vorgestellt, die bei der Beschreibung von Modellinhalten digitaler Bauwerksmodelle Verwendung finden.

Die theoretischen Grundlagen bilden die Voraussetzung, um den aktuellen Forschungsstand in **Kapitel 3** korrekt abbilden zu können. Besonderes Augenmerk wird dabei auf drei Arbeiten gelegt, die ebenfalls im Bereich des Verkehrsinfrastrukturbaus entstanden sind und dem Aufbau und der Fragestellung der eigenen Arbeit ähneln.

Die Analyse der gesichteten Literatur erfolgt im Rahmen der Entwicklung des eigenen Konzepts in **Kapitel 4**. Es werden verschiedene Ansätze zur Beschreibung der Geometrie beleuchtet und Faktoren zur Bestimmung notwendiger semantischer Informationen ermittelt. Im weiteren Zuge der Diskussion wird die Konformität des geometrischen Modellinhalts mit den Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) untersucht. Auf die Diskussion folgt die Vorstellung einer eigenen Struktur zur Beschreibung der geometrischen Modellinhalte und das Schema zur Bestimmung der Mindestanzahl an Attributen in Form von Tabellen. Auf der Basis des Vorangegangenen werden die bauteilbezogenen Definitionen vorgenommen und der Kern der Aufgabenstellung bearbeitet. Die Festlegungen beziehen sich auf ausgewählte Bauteile des Schleusenbaus.

Das entwickelte Konzept wird in **Kapitel 5** in einem Praxisbeispiel angewendet und hinsichtlich der BIM-Anwendungsfälle ausgewertet.

## 2. Theoretische Grundlagen

Das Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen, die für die Definition von Modellinhalten für Building Information Modeling (BIM) Modelle für Schleusen in Kapitel 4 erforderlich sind.

Beginnend mit den grundlegenden Ausführungen zum Konzept des Schleusenbaus und der Standardisierung der WSV wird anschließend eine Zustandsfeststellung der Schleusen in Deutschland vorgenommen.

Im zweiten Teil wird die Building Information Modeling Methode erläutert und weitere für diese Arbeit relevanten BIM-Fachthemen vorgestellt. Darunter fällt die Vorstellung des Stufenplans zur Implementierung der BIM-Methode in Deutschland seitens des BMVI und die Beschreibung der BIM-Anwendungsfälle von *BIM4INFRA*. Weitere Fachthemen sind die verschiedenen Arten von digitalen Bauwerksmodellen, die BIM-Methode im Hinblick auf den Gebäudebestand, der Stand der Einführung von BIM im konstruktiven Wasserbau in Deutschland und eine kurze Einführung zu Klassifikationssystemen.

Das Kapitel der theoretischen Grundlagen wird mit dem übergeordneten Thema der Arbeit – der Beschreibung der Modellinhalte von digitalen Bauwerksmodellen – abgeschlossen. Hierfür wird das Konzept des *BIMForums* vorgestellt und die gängigen Begriffe und Bezeichnungen definiert. Zum Schluss folgt ein kurzer Vergleich international bestehender Standards und Konzepte zur Beschreibung von Modellinhalten digitaler Bauwerksmodelle.

### 2.1. Schleusenbauwerke

Das Ziel von wasserbaulichen Maßnahmen ist es, den natürlichen oder künstlichen Verlauf des Wassers in seinem zeitlichen und örtlichen Auftreten so zu verändern, dass er mit den menschlichen Absichten übereinstimmt (Strobl & Zunic, 2006). Hierzu zählen Schiffschleusen, die durch die Trennung einer Wasserstraße in zwei Abschnitte eine Fallhöhe für Wasserfahrzeuge passierbar machen (Vischer & Huber, 2002).

Das Prinzip der einfachen Kammerschleuse war bereits um das Jahr 1400 bekannt (Dehnert, 1954). Die bauliche Gestaltung einer Schleuse wird nach Dehnert (1954) von drei Hauptfaktoren

beeinflusst. Darunter fallen die zuvor erwähnte Fallhöhe, die Beschaffenheit des Untergrunds sowie Art und Umfang des erwarteten Schiffsverkehrs. Ergänzend spielen heutzutage die Umweltverträglichkeit der Baumaßnahme sowie vermehrt wirtschaftliche Aspekte, hierbei in gleichem Maße die Investitionskosten sowie die Kosten für Unterhaltung und Betrieb, eine entscheidende Rolle (Seus, 2012).

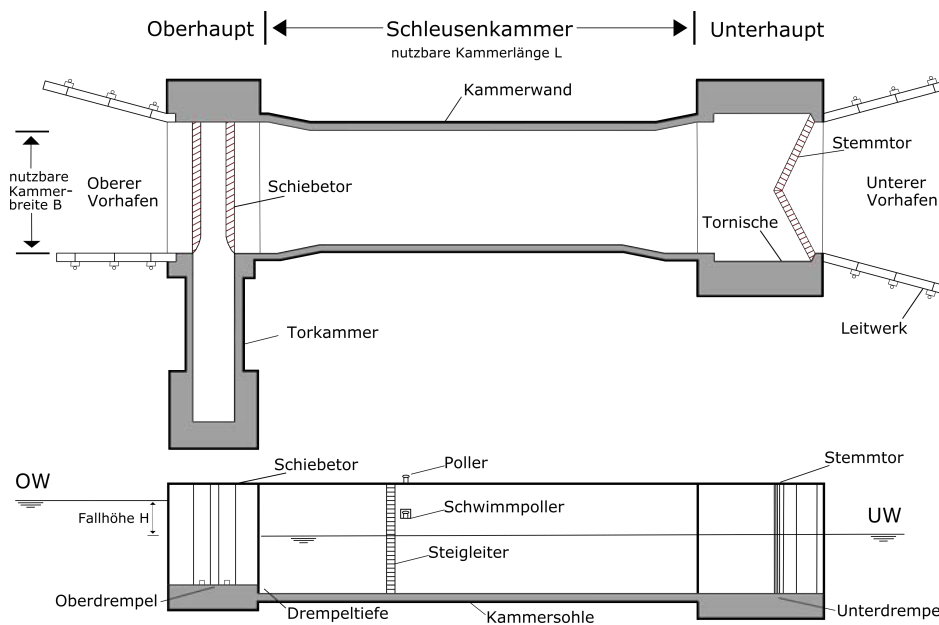
Die Bauformen und Bauarten haben sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt und um den hohen Investitionskosten und den begrenzten Budget- und Personalressourcen der Bundesbehörde zu begegnen, strebt die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) standardisierte Bauweisen an (Wachholz, 2015). Die standardisierten Bauweisen werden in Abschnitt 2.1.2 vorgestellt.

Schleusen sind bedeutsame Bauwerke, die die Durchgängigkeit für Schiffe und Boote gewährleisten. Die quantitative Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße bezogen auf den Verkehr ist in der Regel direkt von der Kammergröße der jeweiligen Schleusen abhängig (Strobl & Zunic, 2006). Die größte Schleuse der Welt befindet sich nach diesem Kriterium im Hafen von Antwerpen. Die Kammer der *Kieldrechtschleuse* hat Abmessungen von 500 m Länge, 68 m Breite und ist für Schiffe mit einem Tiefgang von bis zu 17,80 m nutzbar (Arndt, 2016). In Lüneburg entsteht die größte Schleuse Deutschlands bezogen auf die Fallhöhe. Das neue Schleusenbauwerk ermöglicht Schiffen die Überwindung eines Höhenunterschiedes im Wasserspiegel von 38 m (Arndt, 2018). Übliche Fallhöhen am Main und an der Donau liegen dagegen zwischen 5 m und 10 m (Strobl & Zunic, 2006).

### 2.1.1. Begriffe des Schleusenbaus

Die heutige Schiffsschleuse, ob Seeschleuse oder Binnenschleuse, besteht im Wesentlichen aus zwei gegenüberliegenden Häuptionen, einer zwischenliegenden Kammer und den Vorhäfen. Abbildung 2.1 zeigt den schematischen Aufbau einer Schleuse. Die Häuptionen werden je nach ihrer Lage im Ober- oder Unterwasser, dementsprechend mit Oberhaupt oder Unterhaupt bezeichnet, und sind die „Türrahmen“ der Schleusenammer (Dehnert, 1954). Für Seeschleusen gelten die Bezeichnungen Binnen- und Außenhaupt. In beiden Fällen beinhalten die Häuptionen die Schleusentore, die im geschlossenen Zustand an lotrechte Vorsprünge, Drempel genannt, in den Sohlen der Häuptionen anlehnen. Der Bewegungsraum der Schleusentore wird Torkammer genannt (Dehnert, 1954). Das Leeren und Füllen der Kammer wird grundsätzlich in zwei unterschiedliche Vorgehensweisen unterteilt. Es wird von Schleusen ohne Umläufe gesprochen, wenn der Abfluss durch das Öffnen und Schließen der Tore selbst oder durch im Tor integrierte Schütze erfolgt. Wenn das Wasser durch verschließbare Umläufe um das Tor oder durch sog. Grundläufe unter dem Tor geleitet wird, spricht man von Schleusen mit Umläufen (Strobl & Zunic, 2006; Patt & Gonsowski, 2010).

Der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser ergibt die Fallhöhe der Schleuse und wird in der Literatur mit  $H$  bezeichnet. Die nutzbare Kammerlänge wird mit  $L$  abgekürzt;  $B$



**Abbildung 2.1:** Schematische Darstellung einer Kammerschleuse mit Schiebetor im Oberhaupt und Stemmtor im Unterhaupt (eigene Darstellung)

ist die Kammerbreite und  $T$  die Drempeltiefe (Strobl & Zunic, 2006). Der Grundriss einer Schleusenammer ist im Regelfall rechteckig und besitzt nach DIN19703 (2014) eine Regelbreite von 12,50 m und eine Länge von 140 m bis 190 m. Bei großem Verkehrsaufkommen auf der Wasserstraße werden meist Parallelschleusen gebaut. In diesem Fall liegen zwei Kammern nebeneinander und werden unabhängig voneinander betrieben (Patt & Gonsowski, 2010).

Schleusen sind komplizierte Bauvorhaben, die mehrere Baudisziplinen und Baugewerke verbinden (Huang & Bödefeld, 2018). Während einer solchen Baumaßnahme treffen unter anderem der Spezialtiefbau, der Massivbau und der Stahlwasserbau zusammen (Dehnert, 1954). In vielen Fällen gelten zudem begrenzte Platzverhältnisse bei der baulichen Ausführung.

Hinzukommt eine umfangreiche Ausrüstung von Schleusenbauwerken, die in Tabelle 2.1 gemäß der DIN4054 (1977) beschrieben ist:

### 2.1.2. Standardisierung von Schleusenbauteilen seitens der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung

Schleusen sind aufgrund vielfältiger Randbedingungen unikale Bauwerke. Dennoch ähneln sich die Grundlagen für den Bau von Binnenschleusen (Dehnert, 1954). Diese Tatsache machte sich die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zu nutze und definierte Standardlösungen für Binnenschleusen. Nach Peschken *et al.* (2017) sind seit Beginn des Jahres 2017 wesentliche Elemente für Schleusenanlagen mit einer Fallhöhe kleiner zehn Meter standardisiert. Die Bereiche der Standardisierung von Schleusen betreffen nach Wachholz (2015):

**Tabelle 2.1:** Technische Ausrüstung von Schleusenbauwerken

Schwimmfender	Elastischer Körper zum Schutz gegen Stoßbeanspruchung zwischen Schiff und Bauwerk.
Steigeleiter	In einer Nische der Schleusenammer oder des Schleusenhauptes fest angebrachte Leiter.
Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)	Einrichtungen, die Stahlwasserbauten und die stählerne Ausrüstung von Wasserbauwerken durch einen entsprechend bemessenen Schutzstrom und ein dadurch erzeugtes Schutzpotenzial unter Wasser aktiv vor Korrosionsschäden schützen.
Pegelschacht	Für die Wasserstandszeichnung kommen meist Schwimmerpegel zum Einsatz, die zur besseren Erreichbarkeit bei Wartung in Pegelschächte angeordnet sind.
Kantenschutz	Konstruktiver Schutz der Kammerwände.
Poller	Pfahlstumpffartige Vorrichtung zum Festmachen von Schiffen. In den Ausführungen als Kanten-, Nischen-, und Schwimmpoller.

- Hydraulik und Füllsysteme
- Verschlussarten (Tore und Verschlüsse)
- Antriebe (Tore und Verschlüsse)
- Steuerung und E-Technik
- Ausrüstung und Zubehör

Die Standardisierung wurde ursprünglich eingeführt, um Planungsprozesse zu beschleunigen und Aufwand und Kosten für die Entwicklung, Bau oder Unterhaltung zu minimieren (Seus, 2012; Wachholz, 2015). Die Standardisierung von Schleusen ist für die vorliegende Arbeit relevant, da sie eine bedeutsame Unterstützung der BIM-Methode bildet. Mit Standardisierungen lassen sich Bauteilkataloge erstellen, die den Modellierungsprozess beschleunigen.

Zu den standardisierten Elementen zählen ein Drucksegmenttor im Oberhaupt, ein Stemmtor mit Schütz im Unterhaupt, Stossschutzanlagen, Schwimmpoller und Dammbalken, die in einem modularen Baukastensystem aufgebaut sind (Wachholz, 2015). Von der standardisierten Lösungen darf nur in Ausnahmefällen abgewichen werden, die im Einzelfall bewertet werden müssen (Jander, 2012). Ausgeschlossen sind Gründungselemente, die Ausbildung der Schleusenammer

sowie der Massivbauteil der Schleusenhäupter, die aufgrund von örtlichen Verhältnissen zu planen und zu bemessen sind (Seus, 2012; Peschken *et al.*, 2017).

### 2.1.3. Zustandsfeststellung der Schleusen in Deutschland

Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 2030 des BMVI steht unter der Überschrift: „Investitionshochlauf zur Mobilitätssicherung“ (BMVI, 2016). Im Bereich der Bundeswasserwege soll das Gesamtinvestitionsvolumen im Vergleich zum BVWP 2003 von 11,7 Mrd. € um 110 % auf 24,5 Mrd. € aufgestockt werden (BMVI, 2016). Es wird damit nicht nur auf den erwarteten Zuwachs im Güterverkehr in Deutschland reagiert, sondern auch die ungünstige Altersverteilung der Schleusen, Wehre und Hebewerke in Deutschland berücksichtigt. So wurden laut einer Auswertung in etwa 10 % der Anlagen vor 1900 errichtet und die Hälfte der Anlagen vor mehr als 50 Jahren Wachholz (2015).

Nach dem Verkehrsinfrastrukturbericht 2016 der BMVI (2015b) sind 85 % der Schleusen nach aktuellen Bauwerksprüfungen in einem ungenügendem bis befriedigenden Zustand, für den jedoch mittelfristig Handlungsbedarf besteht. In der Projektliste des BMVI (2016) sind somit 30 Baumaßnahmen für Schleusen enthalten. Aus diesen Zahlen und dem gesamten Bruttoanlagevermögen von 50 Mrd. € wird im BMVI (2016) ein Ersatzinvestitionsbedarf von 900 Mio. € pro Jahr angegeben.

Die Zustandsfeststellung ergibt, dass mittelfristig viele Bauvorhaben umgesetzt werden müssen, um die Durchgängigkeit und Leistungsfähigkeit der Wasserstraßen weiterhin zu gewährleisten. Demzufolge kommt dem Schleusenbau in der Zukunft eine hohe Bedeutung zu.

Der Bau von Schiffsschleusen verbindet stets eine große Gemeinschaft schaffender Menschen und eine Vielzahl verschiedener Bau-Fachdisziplinen. Diese Randbedingungen sind für eine Anwendung der BIM-Methode prädestiniert. Darüber hinaus verursachen Schleusen aufgrund ihrer wartungsaufwendigen Mechanik, der beweglichen Teile und den wiederkehrenden Inspektion des Stahlbetons, hohe Unterhaltungs- und Betriebskosten, sodass sich eine Verwendung des BIM-Modells über den gesamten Lebenszyklus anbietet.

Nach den Autoren Huang & Bödefeld (2018) ist die BIM-Methodik des Hochbaus nicht ohne weiteres auf Infrastrukturprojekte übertragbar. Als Grund geben sie die ausgeprägtere Planungsphase, gekennzeichnet durch umfangreiche Voruntersuchungen, Variantenbetrachtungen, Machbarkeitsstudien, Entwürfe, etc. an. Bei Gesamtprojektlaufzeiten von bis zu 15 Jahren nimmt die Planungsphase in der Regel etwa zwei Drittel der Zeit ein (Huang & Bödefeld, 2018). Es gilt die Vorteile der vernetzt-kooperativen Arbeitsweise BIM für den Schleusenbau zu nutzen.

## 2.2. Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) ist eine moderne, computergestützte Methode für Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken mit der Grundidee eines objektorientierten Designs mit parametrischer Modellierung und einer relationalen Datenbank (Borrmann *et al.*, 2015). Im Mittelpunkt steht die Erstellung und Unterhaltung von digitalen Bauwerksmodellen, die neben geometrischen auch nicht-geometrische Informationen enthalten (BMVI, 2015a). Diese Art der Informationen, werden semantische Informationen genannt und geben Daten eine Bedeutung. Beispielsweise kann das jeweilige Bauwerksmaterial und dessen bauphysikalische Eigenschaften, aber auch die Nutzungseigenschaften von Räumen und deren Betriebskosten semantische Informationen darstellen und mit den Modellelementen verknüpft werden (Van Treeck, 2016). Die digitale Abbildung der relevanten physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks sind für eine interdisziplinäre Verwendung im gesamten Projektverlauf unerlässlich (Borrmann *et al.*, 2015).

Die ersten Ansätze des Building Information Modeling wurden bereits im Jahr 1962 durch den Erfinder der Computer-Maus *Douglas C. Engelbart* beschrieben (Quirk, 2012). Aufgrund der damals noch unzureichenden Grafik- und Rechenleistung der Computer konnte sich die Idee allerdings nicht auf Anhieb durchsetzen (Kaden *et al.*, 2017). Heute bietet BIM den Nutzern die Möglichkeit der automatisierten Interpretation von digitalen Zeichnungen. Die dadurch entstandene Verbesserung der Projektinformationen in puncto Qualität, Aktualität und Transparenz steigert bei richtiger Anwendung die Planungseffizienz hinsichtlich Kosten und Terminen (Egger *et al.*, 2013). Schnittstellen können mithilfe des Modells erkannt und anschließend gemeinsam am Modell gelöst werden (Huber, 2015).

BIM eröffnet für mehrere Anwender aus zum Teil unterschiedlichen Fachdisziplinen die Möglichkeit, in Form von neutralen Datenaustauschformaten über Landesgrenzen hinweg, an einem gemeinsamen Modell zu arbeiten. Die Durchgängigkeit des Informationsflusses wird auf diese Weise gewährleistet (Hausknecht & Liebich, 2016).

Bei der konventionellen Planungsmethodik im Bauwesen ist der Informationsfluss mit zum Teil hohem Aufwand zu bewältigen. Informationen werden immer wieder falsch oder unvollständig an die Projektpartner übermittelt, was wiederum häufig zu Konflikten führt (Huber, 2015). BIM bietet die Möglichkeit für ein vernetztes Denken und Handeln aller Akteure und eine kooperative Arbeitsumgebung mit transparenten Informationen. Hierdurch können Konfliktpotenziale bereits zu Beginn erkannt und im Entwurf berücksichtigt werden (Kaden *et al.*, 2017). Die Anpassung des Entwurfs ist meist kostengünstiger und zeitsparender als Änderungen in späteren Projektphasen vorzunehmen, wenn diese nur noch mit vergrößertem Aufwand umzusetzen sind. Der Grundsatz des Stufenplans des BMVI lautet daher: „Erst digital, dann real bauen“ (BMVI, 2015a).

Das *BIMForum* – dem amerikanischen Teil der *buildingSMART International* – bezeichnet BIM in ihrer Veröffentlichung zu den Level of Development (LOD) als „Communication Tool“ (BIMForum, 2018). Ein Vorteil dieses „Communication Tools“ ergibt sich aus einer konsistenten Informationsweitergabe. Einmal eingetragene Informationen bleiben über den kompletten Lebenszyklus in den Modellen enthalten und eine fehleranfällige Wiedereingabe wird nicht benötigt (Borrmann *et al.*, 2015; BMVI, 2015a). In naher Zukunft ist dadurch eine durchgängige Nutzung des erstellten Modells möglich (Borrmann *et al.*, 2015). Beispielsweise können eingetragene semantische Informationen während des Betriebs weiter verwendet werden, um Wartungspläne der technischen Gebäudeausrüstung zu verwalten, oder den Rückbau des Gebäudes zu organisieren (Van Treeck, 2016). Vor allem in der Bewirtschaftung der Gebäude, das bedeutet die Durchführung des BIM-Prozesses über die Planungs- und Bauphase hinweg, liegt ein immenses Potenzial der BIM-Methode (Borrmann *et al.*, 2015).

### 2.2.1. Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur

Nachdem Finnland im Jahr 2007 als erste Nation Europas BIM-Standards gesetzt hat, wurde mit der Veröffentlichung des *Stufenplans* (BMVI, 2015a) im Jahr 2015 seitens des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) erstmals in Deutschland zu einem gemeinsamen und verpflichteten Weg zur Anwendung der BIM-Methode für Projekte im Verantwortungsbereich des BMVI aufgerufen (Bolpagni, 2016; Borrmann *et al.*, 2015). Der Stufenplan beschreibt drei zeitbezogene Phasen, die in der Reihenfolge *Vorbereitungsphase*, *Erweiterte Pilotphase* und *BIM-Niveau 1 für neu zu planende Projekte*, durchschritten werden. Dabei gelten Mindestanforderungen, die unter dem Begriff *Leistungsniveau 1* zusammengefasst sind (BMVI, 2015a).

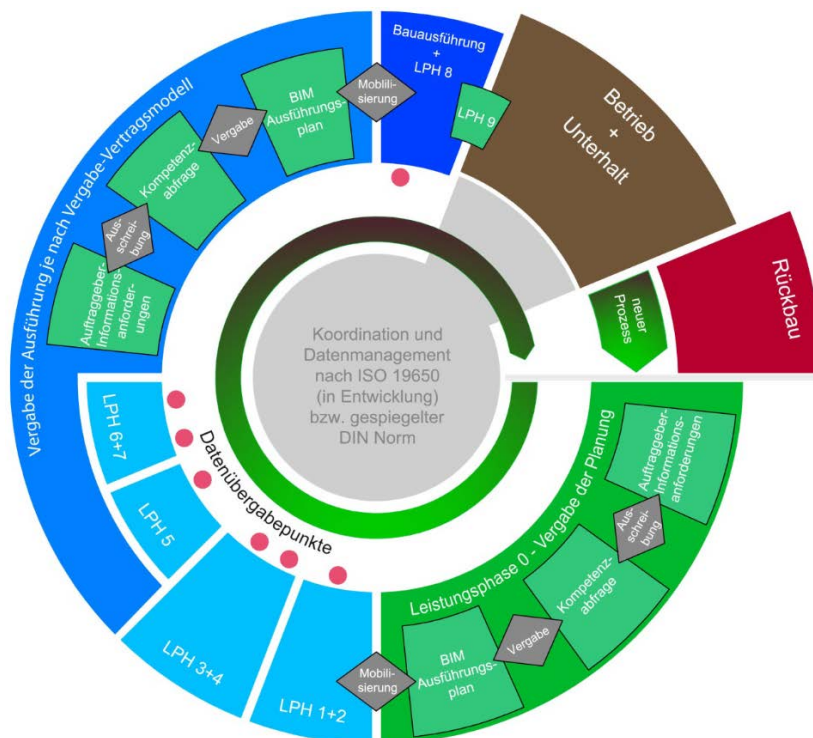
Einen Schwerpunkt des *Stufenplans* bilden Infrastrukturprojekte, die neben Projekten des Straßenbaus auch Projekte des Wasserstraßenbaus ansprechen. Die *Vorbereitungsphase* wurde 2017 abgeschlossen, sodass aktuell die *Erweiterte Pilotphase* dem Sammeln von Erfahrungen und dem Erarbeiten von Standards dient. Das Ziel ist bis Ende 2020 in der Lage zu sein, Neuausschreibungen von Planungsleistungen im Zuständigkeitsbereich des BMVI mit BIM-gestützten Methoden auszuführen (BMVI, 2015a).

Das *Leistungsniveau 1* bildet den zentralen Aspekt des Stufenplans. Hier werden die geforderten Leistungen innerhalb der einzusetzenden BIM-Methode für Neuausschreibungen von Planungs- und Ausführungsleistungen beschrieben. Das *Leistungsniveau 1* gilt sowohl für den Auftraggeber (im Falle des Stufenplans für die öffentliche Hand im Zuständigkeitsbereich des BMVI) als auch für die Auftragnehmer, die ihre Leistungen entsprechend anbieten müssen. Zu den Mindestanforderungen des *Leistungsniveaus 1* gehört unter anderem die Erstellung einer Auftraggeber-Informationsanforderung (AIA), in denen der Auftraggeber festlegt, zu welchem



Zeitpunkten die festgelegten Daten benötigt werden. Die AIA enthält eine konkrete Beschreibung der unternehmens- und projektspezifischen BIM-Anforderungen (Verband Beratender Ingenieure, 2016). Die angeforderten Daten müssen die Geometrie und die relevanten Bauwerks- und Bauteilattribute umfassen (BMVI, 2015a). Das Dokument ist bereits vor Projektstart bereitzustellen und als Startpunkt des BIM-gestützten Bauprozesses zu sehen (BMVI, 2015a). Abbildung 2.2 zeigt den Ablauf eines BIM-Prozesses über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Die AIA gibt an, zu welchem Zweck das BIM-Modell genutzt werden soll und beschreibt erstmals die Detailtiefe des Modells in geometrischer und semantischer Hinsicht (Verband Beratender Ingenieure, 2016). Ein Beispiel einer AIA für den Neubau der Schleuse Lüneburg kann unter NBA Hannover (2018) eingesehen werden.

Weitere Anforderungen aus dem *Leistungsniveau 1* sind ein 3D-fachmodellbasiertes Arbeiten in digitaler Form, mit dessen Hilfe Bauwerks- und Bauablaufpläne erstellt werden. Die Datenübergabepunkte in Abbildung 2.2 können projektspezifisch variieren und werden im BIM-Abwicklungsplan (BAP) festgelegt, auf den nachfolgend eingegangen wird. Das *Leistungsniveau 1* fordert zudem die Ableitung von 2D-Plänen aus dem 3D-Modell (BMVI, 2015a; Van Treck, 2016).



**Abbildung 2.2:** Referenzprozess des Leistungsniveau 1 (BMVI, 2015a)

Neben der Erstellung einer AIA wird im späteren Projektverlauf ein BIM-Abwicklungsplan (BAP) erarbeitet. Aus Sicht der AIA stellt der BAP eine vertiefte Fokussierung auf die Organisation dar. Der BAP enthält den Fahrplan eines BIM-Projektes bezüglich der Erstellung, Weitergabe und Verwaltung der Daten. Im BAP werden demzufolge die Prozesse

zur Herstellung der geforderten Daten definiert. Darunter fällt die Bestimmung von Rollen, Funktionen, Abläufen, Schnittstellen, Interaktionen und den genutzten Technologien sowie die Bestimmung der Zeitpunkte von Planungsbesprechungen und dem Zusammenführen der Fachmodelle für Kollisionsprüfungen. Der BAP beantwortet zudem die Fragen nach dem geforderten Zeitpunkt und der Tiefe der Detaillierung des Modells (BMVI, 2015a).

### 2.2.2. Die BIM-Anwendungsfälle nach der ARGE BIM4INFRA 2020

Die *ARGE BIM4INFRA 2020* (in der Folge *BIM4INFRA*), ein Zusammenschluss aus Bauunternehmen, Planungsbüros, Universitätslehrstühlen im Bereich Bauinformatik, Softwareentwicklern sowie Rechtsanwaltbüros und Unternehmensberatungen, erarbeitet im Auftrag des BMVI Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einführung der BIM-Methodik für Infrastrukturprojekte. Darunter fallen die Begleitung der Pilotprojekte im Straßen- und Wasserstraßenbereich und die Ausweitung der Pilotphase. Darüber hinaus erarbeitet *BIM4INFRA* verschiedene Leitfäden für die Vergabe und Abwicklung von BIM-Leistungen. Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die Beschreibung der Anwendungsfälle (AwF) für die BIM-Methode bedeutsam. Die Anwendungsfälle haben einen erheblichen Einfluss auf den geometrischen und semantischen Informationsgehalt und sind im Dokument der *BIM4INFRA2020* (2017b) zur Umsetzung des Stufenplans abgebildet.

Anwendungsfälle beschreiben auf welche Weise und zu welchem Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden. Die ergebnisbezogene Formulierung der Anwendungsfälle unterstützt die Identifikation der geforderten Leistung. Damit werden die Kernprozesse der Projektrealisierung definiert und können anschließend auf das modellbasierte Arbeiten übertragen werden. Weiter sind die Anwendungsfälle seitens der *BIM4INFRA2020* (2017b) allgemeingültig, praxisrelevant und nach den Anforderungen des BMVI (2015a) Stufenplans beschrieben. Die enthaltenen Aufgaben gelten für die Planung, Vergabe, Ausführung und den Betrieb von Bauprojekten und sind an die Leistungsphasen der HOAI angelehnt (*BIM4INFRA2020*, 2017b). *BIM4INFRA* benennt die Anwendungsfall (AwF) bewusst nach den Aufgaben aus den Leistungsphase (LPH) um herauszustellen, „dass sich durch die Nutzung von BIM primär die Methoden zur Erstellung der geforderten Leistungen ändern, die Leistungen als solche jedoch nicht“ (*BIM4INFRA2020*, 2017b).

Insgesamt formuliert *BIM4INFRA2020* (2017b) zwanzig Anwendungsfälle. Im Zuge dieser Arbeit können jedoch nicht alle Anwendungsfälle berücksichtigt werden, da die Erstellung eines Konzepts zur Beschreibung von Modellinhalten von Erfahrungen abhängig ist, mit denen sich feststellen lässt, welche Anforderungen an die geometrischen und semantischen Informationen aus der Bearbeitung eines AwF entstehen. Für die Identifizierung geeigneter Anwendungsfälle wird auf die Zielszenarien „Einstieg“, „Aufbruch“ und „Höchstleistung“ in *BIM4INFRA2020* (2017b) verwiesen, mit denen die Anwendungsfälle hinsichtlich Aufwand

und resultierender Nutzen bewertet werden und die zudem eine Umsetzungsempfehlung für das Jahr 2020 aussprechen. Es wurden demnach die AwF der Szenarien „Einstieg“ und „Aufbruch“ ausgewählt, die zusätzlich im Bereich der Planung liegen und die zum heutigen Zeitpunkt bereits umgesetzt werden. Demzufolge werden beispielsweise die AwF 6 (Fortschrittskontrolle der Planung) und AwF 9 (Planungsfreigabe) nicht berücksichtigt, da sie zum jetzigen Zeitpunkt in sehr eingeschränktem Umfang oder noch gar nicht eingesetzt werden (BIM4INFRA2020, 2017b).

In Tabelle 2.2 erfolgt die Kurzbeschreibung der für diese Arbeit relevanten Anwendungsfälle nach BIM4INFRA2020 (2017b). Zu beachten ist, dass BIM-gestützte Verfahren wie Mengenermittlung und automatisierte Kollisionsprüfung nicht zu den Anwendungsfällen gehören, sondern als Erfüllungsmethoden der Anwendungsfälle zu sehen sind (BIM4INFRA2020, 2017b). Eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle ist im Anhang gegeben. Für die Beschreibung aller Anwendungsfälle wird daher auf die Literatur (BIM4INFRA2020, 2017b) verwiesen.

**Tabelle 2.2:** Beschreibung der Anwendungsfälle für die Planung nach BIM4INFRA2020, 2017b

Code	Bezeichnung	Kurzbeschreibung
AwF 1	Bestandserfassung	Erfassen wesentlicher Aspekte des Bestandes durch geeignetes Aufmaß und Überführung in eine 3D Ansicht. Eingangsdaten können aus bestehenden Unterlagen, Vermessungen, 3D Scans, Photogrammetrie oder einer Kombination daraus entnommen werden.
AwF 2	Planungsvariantenuntersuchung	Erstellung der Planungsvarianten als BIM-Modelle und Bewertung hinsichtlich der Kosten, Termine und / oder Qualität.
AwF 3	Visualisierungen (Öffentlichkeitsarbeit)	Bedarfsgerechtes Visualisieren des BIM-Modells als Basis für Projektbesprechungen im Zuge der Planung und der Ausführung sowie für die Öffentlichkeitsarbeit.
AwF 5	Koordination der Fachgewerke	Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell, mit anschließender automatisierter Kollisionsprüfung und systematischer Konfliktbehebung.
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen	Ableitung der wesentlichen Teile der Entwurfs- und Genehmigungspläne aus dem Modell.

AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung	Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells als Basis für Kostenschätzungen und Kostenberechnungen.
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	Modellgestützte Erzeugung von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe.
AwF 12	Terminplanung der Ausführung	Erstellung von Terminplänen. Vorgängen werden Elemente des Modells zugeordnet (4D-Modell). Damit ergeben sich auch Zuordnungen zu Mengen und damit Kosten (5D-Modell).
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen	Ableitung der wesentlichen Teile der Ausführungsplanung aus dem Modell.

Verschiedene Anwendungsfälle können in verschiedenen Projektphasen bearbeitet werden. Die Zuordnung zu den Leistungsphasen bleibt dem Auftraggeber überlassen, wobei beachtet werden muss, dass bestimmte Anwendungsfälle aufgrund ihrer ergebnisbezogenen Formulierung in bestimmten Leistungsphasen ausgeschlossen werden können. In Tabelle 2.3 ist eine mögliche Zuordnung der zuvor beschriebenen Anwendungsfälle der Planung zu den Leistungsphasen der HOAI gegeben (LPH 1–7).

Zudem kann je nach Projektphase der Leistungsumfang, der mit der Bearbeitung eines Anwendungsfalls einhergeht, stark variieren (BIM4INFRA2020, 2017b). Ein Beispiel findet sich in der Koordination der Fachgewerke. In der Entwurfsplanung ist mit einem geringeren Aufwand zur Erfüllung des Anwendungsfalls zu rechnen als in der Ausführungsplanung (BIM4INFRA2020, 2017b). Diesem Sachverhalt wird in der Diskussion um die Attribut-Tabellen in Abschnitt 4.2.4 und in den Auswertungen des Projektbeispiels weiter Beachtung geschenkt.

Je nach Anwendungsfall entstehen unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Geometrie und der Attribuierung des Modellelements. Beispielsweise werden für eine reine Visualisierung weniger semantische Informationen benötigt, als für eine Kostenberechnung. Demgegenüber stellt die Ableitung von Ausführungsplänen große Anforderungen an die geometrische Detaillierung.

BIM4INFRA2020 (2017b) gibt an, dass die AwF für jede Projektart und Projektkomplexität umsetzbar sind. Der resultierende Nutzen ergibt sich projektspezifisch und die Erwartungen sollten vorweg formuliert werden (BIM4INFRA2020, 2017b).

**Tabelle 2.3:** Zuordnung der Anwendungsfälle zu den Leistungsphasen der HOAI nach BIM4INFRA2020, 2017b

Code	Anwendungsfall	Leistungsphasen gem. HOAI						
		1	2	3	4	5	6	7
AwF 1	Bestandserfassung	X	X					
AwF 2	Planungsvariantenuntersuchung			X				
AwF 3	Visualisierung		X	X	X	X		
AwF 5	Koordination der Fachgewerke		X	X		X		
AwF 7	Erstellung von Entwurfs-, Genehmigungs- bzw. Ausführungsplänen		X	X	X			
AwF 10	Kostenschätzung/Kostenberechnung		X	X				
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe						X	X
AwF 12	Terminplanung der Ausführung				X	X	X	
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen						X	

### 2.2.3. Arten von digitalen Bauwerksmodellen

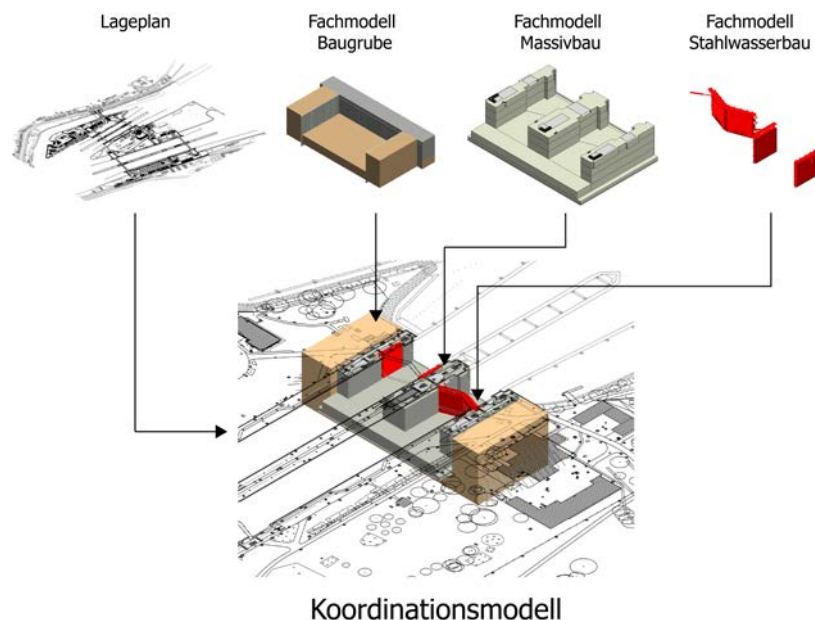
Die Kernaufgabe des Building Information Modeling ist die Erstellung der digitalen Bauwerksrepräsentation (Borrmann *et al.*, 2015). Im Laufe des Erstellungsprozesses entstehen eine Vielzahl von Modellen, die zu vorher definierten Datenübergabezeitpunkten in einem Gesamtmodell zusammengeführt werden und der Bewältigung und Organisation von großen Datenmengen dienen.

In der Literatur werden die Begriffe Teilmodell und Fachmodell als Synonym verwendet (vgl. Kaden *et al.* (2017), Borrmann *et al.* (2015) und Egger *et al.* (2013)). Das Teilmodell ist ein nach projektspezifischen Gesichtspunkten auf einen Ausschnitt reduziertes Bauwerksinformationsmodell. Hingegen fokussiert sich ein Fachmodell auf die Informationen für Anwendungen einer bestimmten Disziplin oder eines bestimmten Gewerks. Das Fachmodell enthält die Planungsergebnisse der Fachplanungsteams wie etwa das Modell des Massivbau oder das Schleusentor, das dem Stahlwasserbau zugeschrieben wird. Weitere Beispiele für Fachmodelle sind das Architekturmodell und das Tragwerksmodell (Helmus *et al.*, 2017). In Helmus *et al.* (2017) und Egger *et al.* (2013) sind Übersichten zu gängigen Modelltypen gegeben. Ein Fachmodell kann auch ein Gesamtmodell darstellen, wenn es als alleinstehendes BIM-Modell existiert (Helmus *et al.*, 2017).

Wenn ein Gesamtmodell die zulässige Dateigröße übersteigt, oder hinsichtlich seiner räumlichen und zeitlichen Aspekte getrennt wird, entsteht ein sogenanntes Teilmodelle (Helmus *et al.*,

2017). Für die vorliegende Arbeit ist lediglich die räumliche Trennung relevant. Daher wird an dieser Stelle der Begriff des Bereichsmodell eingeführt, um hier eine eindeutige Bezeichnung zu erhalten. Im Falle des Schleusenbaus bilden Modelle der Häupter, der Kammer und der Vorhäfen mögliche Bereichsmodelle.

Eine besondere Stellung bei den Arten der digitalen Bauwerksmodelle nimmt das Koordinationsmodell ein. Es bildet die Basis für die Modellintegration anderer Fachplaner und stellt somit die zentrale Ressource der modellbasierten Zusammenarbeit dar (Borrmann *et al.*, 2015; Helmus *et al.*, 2017). Das bedeutet, dass ein Koordinationsmodell mitunter aus verschiedenen Fachmodellen besteht und vornehmlich dazu genutzt wird, um getrennt erstellte Fachmodelle auf Konsistenz und hinsichtlich einer möglichen geometrischen Kollision oder anderweitige fachliche Konflikte zu überprüfen (Borrmann *et al.*, 2015). Die Überprüfung erfolgt in sogenannten Modelchecker- oder Viewer-Software. Die Integration verschiedener Fachmodelle in ein gemeinsames Koordinationsmodell ist in Abbildung 2.3 dargestellt.



**Abbildung 2.3:** Integration eines Lageplans und verschiedener Fachmodelle in ein Koordinationsmodell (eigene Darstellung)

Das Bestandsmodell stellt eine weitere Ausnahme dar, denn es gibt den Ist-Zustand eines Bauwerks wieder. Die Bezeichnung beschreibt entweder das Modell der Bestandsbauwerke oder das nachgeführte BIM-Modell des im Zuge der Baumaßnahme erreichten Bauzustands (Helmus *et al.*, 2017). Letzteres wird in dieser Arbeit mit *as-built*-Modell (engl.: wie gebaut) bezeichnet und in dieser Arbeit nicht prioritär behandelt, da es meist nach der Planung entsteht und für den Betrieb und Rückbau des Bauwerks verwendet wird. Das Modell des Bestands hingegen stellt eine wichtige Planungsgrundlage dar und wird in den ersten Leistungsphasen erstellt (Entzian & Scharmann, 2015). Auf die Besonderheiten von BIM im Bestand wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

#### 2.2.4. BIM im Bestand

Die ungünstige Altersstruktur der Schleusen in Deutschland, wie in Abschnitt 2.1.3 beschrieben, ergibt die Notwendigkeit einer gemeinsamen Betrachtung von Schleusen als Bauwerke des Infrastrukturbereichs und der softwaregestützten BIM-Methode mit Blick auf Bestandsbauwerke. Im Fokus dieser Arbeit steht die Erfassung relevanter Bauwerksinformationen, die ebenfalls die Abbildung des Bestands hinsichtlich seines Detaillierungsgrades enthalten.

Die Erfassung des Bestands kann in originärer oder sekundärer Datenerfassung erfolgen. Die sekundäre Datenerfassung beruht auf der Auswertung von existierenden Plänen, Listen und Verzeichnissen (Kaden *et al.*, 2017). Eine originäre Bestandserfassung beschreibt neue oder ergänzende Methoden. Dazu gehört beispielsweise das 3D-Laserscanning eines Objektes. Im Building Information Modeling wird ein hohes Augenmerk auf die Aktualität der Informationen gelegt, weshalb der originäre Datenerfassung einer hohen Bedeutung zugesprochen wird (Kaden *et al.*, 2017). Wenn ein Bestandsmodell nicht aus Bestandsplänen aufgebaut wird, fallen die wesentlichen Aspekte der Bestandserfassung in den Aufgabenbereich des Vermessungsingenieurs. In beiden Fällen sind die Anforderungen in einer AIA festzuhalten (Kaden *et al.*, 2017).

Im Hinblick auf die geometrischen Informationen eröffnet die sekundäre Datenerfassung die Frage nach der notwendigen Detailtiefe, die in Abschnitt 2.3 behandelt wird. Dem Modellersteller stellt sich die Frage nach dem Grad der geometrischen Detaillierung und der notwendigen semantischen Informationen. Semantische Informationen liefern entscheidende Hinweise hinsichtlich des Abbruchs von Bestandsbauwerken, wenn beispielsweise umweltgerecht entsorgt oder recycelt werden soll (Entzian & Scharmann, 2015).

Auf den Schleusenbau bezogen, bildet die Abbildung des Bestandes eine bedeutsame Planungsgrundlage. In der heutigen Zeit entstehen neue Schleusen vermehrt in nächster Nachbarschaft zu bestehenden Schleusenkomplexen. In diesem Fall gilt es die Bestandsschleuse vor möglichen Schädigungen aus dem Bauprozess zu schützen (Peschken *et al.*, 2017). Im Zuge des Anwendungsbeispiels in Kapitel 5 werden die Aspekte eines Bestandsmodells weiter ausgeführt.

#### 2.2.5. BIM im konstruktiven Wasserbau in Deutschland

Im Zuge des Stufenplans veranlasste die WSV zwei Pilotprojekte für die Implementierung der BIM-Methode im konstruktiven Wasserbau (Peschken *et al.*, 2017).

Das Pilotprojekt „Schleuse Wedtlenstedt“ wurde konventionell geplant und die BIM-Methode parallel dazu angewendet (BIM4INFRA2020, 2017a). Innerhalb des Pilotprojekts wurden die Anwendungsfälle Bestandserfassung, Planungsvariantenuntersuchung, Koordination der Fachgewerke, Kostenschätzung und Kostenberechnung sowie die Terminplanung der Ausführung in den LPH 2 und 3 (BIM4INFRA2020, 2017a). Die AIA und der BAP wurden intern

erstellt und stehen nicht zur Einsicht zur Verfügung. Neben den BIM-Anwendungsfällen sind entsprechende übergeordnete Ziele formuliert, die eine schrittweise Einführung und das Sammeln von Erfahrungen betreffen (Peschken *et al.*, 2017).

Tabelle 2.4 zeigt eine mögliche Zuordnung der AwF zu den Leistungsphasen der HOAI wie sie im Pilotprojekt „Neubau der Westkammer der Schleuse Wedtlenstedt“ der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes vorgenommen wurde (BIM4INFRA2020, 2017a).

**Tabelle 2.4:** Zuordnung der Anwendungsfälle zu den Leistungsphasen der HOAI für das Pilotprojekt Schleuse Wedtlenstedt nach BIM4INFRA2020, 2017a

Code	Anwendungsfall	Leistungsphasen gem. HOAI											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Betrieb		
AwF 1	Bestandserfassung		X										
AwF 2	Planungsvariantenuntersuchung		X										
AwF 5	Koordination der Fachgewerke		X	X									
AwF 7	Erstellung von Entwurfs-, Genehmigungs- bzw. Ausführungsplänen		X	X									
AwF 10	Kostenschätzung/Kostenberechnung		X	X									
AwF 12	Terminplanung der Ausführung				X								

Das zweite Pilotprojekt der WSV ist der Neubau der Schleuse Lüneburg. Während es sich nach Peschken *et al.* (2017) bei der Schleuse Wedtlenstedt um ein "überschaubares" Projekt „ohne zeitlichen Druck“ handelt, stellt die Schleuse Lüneburg ein Novum dar (Peschken *et al.*, 2017). Die Schleuse überwindet eine Fallhöhe von 38 m und wird in 60 m Entfernung von einem bestehenden Schiffshebewerk erbaut. Der WSV erhofft sich durch die BIM-Anwendung eine Risikominimierung hinsichtlich Kosten und Termine. Um der komplexen Aufgabe um den Bau der Schleuse gerecht zu werden, wird das Bauwerk somit zuerst digital und anschließend real gebaut (Peschken *et al.*, 2017). Im August 2018 wurde die entsprechende AIA veröffentlicht, die unter NBA Hannover (2018) einsehbar ist.

### 2.2.6. Klassifikationssysteme

Klassifikationssysteme werden für die hierarchische Strukturierung und die vereinheitlichte Nutzung von Begrifflichkeiten verwendet (Borrmann & König, 2018). Die Objekte werden zu Klassen zusammengefasst und in einem Klassifizierungssystem organisiert. Der systematische Aufbau von Klassifizierungen ermöglicht, eingetragene Informationen zielsicher und schnell abzurufen, zu aktualisieren oder neu zu erstellen (Borrmann *et al.*, 2015). Ein sogenannter Objektschlüssel, der sich meist aus dem jeweiligen Datenpfad ergibt, identifiziert jedes Objekt eindeutig. Damit ist die Möglichkeit von softwarespezifischen BIM-Anwendungen wie bei-



spielsweise der Mengenermittlung gegeben (Baldwin, 2018). Der Objektschlüssel muss dafür für Maschinen lesbar sein. Eine weitere Anwendung der Objektschlüssel ist die Nutzung von Teilautomatisierungen im Vergabeverfahren durch die Verknüpfung einzelner Objekte in ein Leistungsverzeichnis (Borrmann *et al.*, 2015).

Der *Objektkatalog* gemäß der Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes umfasst alle materiellen Objekte im Aufgabenbereich der WSV. Den Objektarten und Objektteilen sind IT-gerechte Kennzahlen zugeteilt (BMVBW, 2005). Damit eignet sich das Klassifizierungssystem als Grundlage für die Objektidentifizierung in einer BIM-Anwendung. Am Beispiel von „Kammersohlen – 311.211“ wird der Strukturaufbau des Objektkatalogs veranschaulicht.

**Tabelle 2.5:** Auszug aus dem Objektkatalog der WSV am Beispiel der Kammersohle (BMVBW, 2005)

Objekthauptgruppen						
Objekte für unmittelbare Aufgaben						
–						
	Objektobergruppe					
	Objekte für den Schiffsverkehr					
	300					
		Objektgruppe				
		Abstiegsanlagen				
		310				
			Objektuntergruppe			
			Schiffsschleusenanlagen			
			311			
				Objektteil Stufe 1		
				Schiffsschleusen		
				311.200		
					Objektteil Stufe 2	
					Schleusenkammern	
					311.210	
						Objektteil Stufe 3
						Kammersohlen
						311.211

## 2.3. Begriffe zur Beschreibung des Modellinhalts digitaler Bauwerksmodelle

Die langjährige Planungsmethode der Bauwirtschaft basiert in viele Fällen auf 2D-Zeichnungen, die mithilfe von Maßstäben ein Grundverständnis über die Informationstiefe der jeweiligen Leistungsphase liefern (Hausknecht & Liebich, 2016). Für digitale 3D-Modelle existiert kein

Maßstab, denn das BIM-Modell wird bezüglich seiner geometrischen Ausprägungen eins-zu-eins dargestellt (Baldwin, 2018).

Wenn der zielorientierte Austausch von Bauwerksinformationen mit dem „Communication Tool“ BIM vollständig und missverständnislos erfolgen soll, ist eine einheitliche Sprache erforderlich (Hooper, 2015; Hausknecht & Liebich, 2016). Im Jahr 2004 erkannte *Vico Software* (heute ein Unternehmensteil von *Trimble Navigation Ltd.*) das Potenzial von BIM für ihre Kalkulationssoftware für Baukosten und suchte nach einem Weg, die Vollständigkeit und Verlässlichkeit von digitalen Bauwerksmodellen verständlich auszudrücken (Bedrick, 2008). Daraufhin erstellte *Vico Software* das Konzept der Level of Detail, das im Jahr 2008 vom *American Institute of Architects* in deren Dokument *E202<sup>TM</sup>—2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit* aufgegriffen und zu den Level of Development weiterentwickelt wurde (American Institute of Architects, 2008; Baldwin, 2018).

Mithilfe der Level of Detail wird der steigende Informationsgehalt entlang des Designprozesses eines Modellelements in fünf Leveln von LOD 100–500 beschrieben (American Institute of Architects, 2008). Die geringste Modellierungstiefe ist das LOD 100. Die digitale eins-zu-eins-Nachbildung, des in der Realität gebauten Gebäudes, erhält dagegen den höchsten Modellierungsgrad LOD 500. Dieser Zustand wird auch *as-built* genannt (Baldwin, 2018). Zwischen LOD 100 und LOD 500 erfolgt die Abstufung in 100er-Schritten. Der Levelaufbau ist konsistent, was bedeutet, jedes höhere Level enthält alle Informationen des vorherigen Levels (American Institute of Architects, 2008). Die fünf Stufen der Level of Development werden nach dem aktuellsten Dokument der *American Institute of Architects*) wie folgt definiert (Übersetzung nach Borrmann *et al.* (2015)):

**LOD 100** Das Modellelement wird im Modell grafisch repräsentiert durch ein Symbol oder eine andere generische Repräsentation. Elementbezogene Informationen (wie Kosten pro m<sup>2</sup>, etc.) können von anderen Modellelementen abgeleitet werden.

**LOD 200** Das Modellelement wird im Modell grafisch repräsentiert durch ein generisches Objekt, das mit ungefähren Abmessungen, Position und Orientierung versehen ist.

**LOD 300** Das Modellelement wird im Modell grafisch repräsentiert durch ein spezifisches Objekt in Bezug auf Größe, Abmessungen, Form, Position und Orientierung.

**LOD 400** Das Modellelement wird im Modell grafisch repräsentiert durch ein spezifisches Objekt in Bezug auf Größe, Abmessungen, Form, Position und Orientierung sowie auf Informationen zu Herstellung, Zusammenbau und Installation.

**LOD 500** Das Modellelement wurde auf der Baustelle hinsichtlich seiner Größe, Abmessungen, Form, Position und Orientierung überprüft.

Die Definition des Modellinhalts in Form von LOD-Konzepten bildet eine bedeutsame Schnittstelle zwischen den Projektbeteiligten, da sie einen gemeinsamen Bezugspunkt bieten und die Kommunikation vereinheitlichen (Hooper, 2015). Zudem können Abmachungen bezüglich der zu erwartenden Leistungen spezifiziert, die Planung und Koordination von Arbeitsressourcen unterstützt und auch der Fortschritt eines Modells gemessen werden (NATSPEC, 2013).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Angabe über die Verlässlichkeit der weitergegebenen Informationen (BIMForum, 2018; Tredal *et al.*, 2016). Gerade bei der Entscheidungsfindung ist es essentiell zu wissen, ob die vorliegenden Informationen vage oder exakt sind. Aus Sicht des Modellautors liefern vorab getroffene LOD-Spezifikationen entscheidende Hinweise welche Informationen möglicherweise erst zu einer späteren Planungsphase veröffentlicht werden sollen und noch unter Verschluss zu halten sind. NATSPEC (2013) beschreibt weitere Kernpunkte der Level of Development wie folgt:

1. LOD ist ein Werkzeug, um zu definieren, in welchem Maße Modellelemente entwickelt werden; vom Konzept im Kopf des Designer bis zur Konstruktion und dem Betrieb.
2. Das Konzept von LOD erkennt, dass Elemente innerhalb eines Modells während des Designprozesses zu einem unterschiedlichen Grad entwickelt sein können. Demzufolge sollte das LOD nur Modellelemente beschreiben und nicht für die Beschreibung eines ganzen Modells verwendet werden.
3. Die Entwicklung von semantischen Informationen in Zusammenhang mit Modellelementen ist ebenso erheblich wie die Entwicklung der Geometrie und somit integraler Bestandteil der LOD.
4. Der Zweck von LOD ist es, Klarheit und Gewissheit zu schaffen, was von den Beteiligten bei der Entwicklung des Modells erwartet wird, damit diese ihre Arbeit vertrauensvoll planen können.

### 2.3.1. Die BIMForum Level of Development Spezifikation

Das *BIMForum* veröffentlichte 2013 ihre erste LOD-Spezifikation (neueste Version BIMForum (2018)) als Weiterentwicklung des *E202<sup>TM</sup>—2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit* des American Institute of Architects (2008).

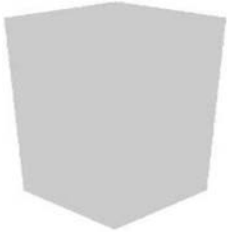
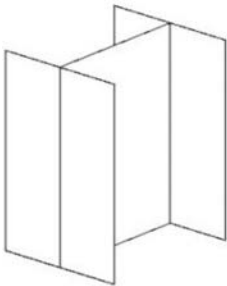

Nach Aussagen des *BIMForums* lässt das Dokument des American Institute of Architects (2008) zu viel Interpretationsspielraum zu. Aus diesem Grund wird seitens des BIMForum (2018) eine grafische Darstellung für ausgewählte Bauelemente bereitgestellt und die allgemeinen Anforderungen zusätzlich spezifiziert. Heute ist die *LOD Specification* ein international anerkannter Standard und findet in verschiedener Fachliteratur stete Erwähnung (Egger *et al.* (2013); Borrmann *et al.* (2015); Hausknecht & Liebich (2016)). Die Spezifikation stellt ein

Werkzeug dar, das „die Qualität der Kommunikation unter den BIM-Anwendern verbessert“ (BIMForum, 2018).

In Abschnitt 2.3 ist die generische Beschreibung der Level of Development aufgelistet. Zudem führt das BIMForum (2018) objektbezogene Beschreibungen von Bauteilen durch, die in Tabelle 2.6 am Beispiel einer Stahlstütze abgebildet ist. Die Abbildungen wurden BIMForum (2018) entnommen. In der rechten Spalte der Tabelle sind die spezifizierten Anforderungen des jeweiligen Bauteils je Level definiert, die die allgemeinen Formulierungen aus Abschnitt 2.3 ergänzen. Besondere Hinweise zu den Abbildungen werden von BIMForum (2018) in kursiver Schrift gehalten.

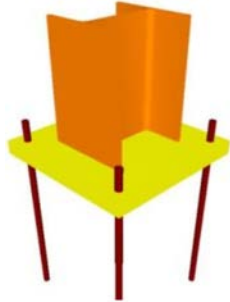
Das LOD 350 ist eine Besonderheit des *BIMForums* und wurde eingeführt, um die Schnittstelle zwischen anderen Gebäudesystemen zu adressieren. Ein weiterer Hinweis sei dem LOD 500 gegeben, denn es stellt eine Nachführung im digitalen Modell gemäß dem gebauten Zustand dar. Das LOD 500 wird als *as-built*-Zustand bezeichnet. Aus diesem Grund wird das LOD 500 nicht die eigene Definition der Modellinhalte aufgenommen.

**Tabelle 2.6:** LOD Definition einer Stahlstütze (BIMForum, 2018)

LOD 100		Annahmen zur Rahmenkonstruktion werden in andere Modellelemente einbezogen, wie etwa ein architektonisches Element, das eine Schicht für die geschätzte Rahmenkonstruktionstiefe besitzt, oder die schematischen Strukturelemente, die sich nicht nach Typ oder Material unterscheiden lassen. Montagetiefe / -dicke oder Größe und Lage des Bauteils noch flexibel.
LOD 200		Modellelemente hinzuzufügen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fußboden mit ungefähren Abmessungen</li> <li>- tragende Rahmenelemente grob dimensioniert</li> <li>- Raster genau definiert</li> </ul>
LOD 300		In Elementmodellierung einzuschließen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezifische Größe der Hauptrahmenelemente modelliert mit definiertem Raster und korrekter Lage und Orientierung</li> </ul>

**Tabelle 2.6:** LOD Definition einer Stahlstütze (BIMForum, 2018)

LOD 350



In Elementmodellierung einzuschließen:

- tatsächliche Höhe und Lage von Verbindungen
- Hauptelemente von typischen Verbindungen, aller Stahlverbindungen wie Kopfplatten, Knotenbleche, Ankerstangen, etc.
- Alle weiteren Stahlelemente mit korrekter Lage, Form, Orientierung und Material.
- Weitere Verstärkungen der Stahlkonstruktion wie Steifen, etc.

LOD 400



In Elementmodellierung einzuschließen:

- Schweißnähte
- Verbindungstyp
- Schraubenabdeckungen
- Unterlegscheiben, Muttern, etc.
- Alle Montageelemente

### 2.3.2. Unterscheidung zwischen Level of Development und Level of Detail

Die Abkürzung LOD wurde ursprünglich für das Level of Detail verwendet und steht somit nach der Einführung des Level of Development für zwei Begriffe. Der Detaillierungsgrad in 3D-Modellen von Geoinformationssystemen wird ebenfalls mit dem Level of Detail angegeben und adressiert den Aspekt des Maßstabs in Karten. Die Modellinhalte werden in der Geoinformatik nach dem Prinzip der Generalisierung behandelt, was bedeutet, dass für einen niedrigen Level of Detail kleinere bzw. unbedeutende Gebäudeteile nicht modelliert werden (Kaden *et al.*, 2017). Im Zuge dieser Arbeit wird jedoch nicht weiter auf Geoinformationssysteme eingegangen und auf die Literatur von Kaden *et al.* (2017) verwiesen.

Das (BIMForum, 2018) weist in ihrer Spezifikation explizit auf den Unterschied zwischen Level of Detail und Level of Development hin und unterscheidet wie folgt zwischen den beiden Begriffen: Das Level of Detail steht für die Anzahl der geometrischen Details in

einem modellierten Objekt. Das Level of Development beschreibt bis zu welchem Grad die Geometrie und die semantischen Informationen durchdacht sind und bis zu welchem Grad sich die Projektteilnehmer auf die Informationen bei der Verwendung des Modells verlassen können (BIMForum, 2018). Das BIMForum (2018) bezeichnet den Level of Detail als Input in das Modellelement und das Level of Development als verlässlichen Output.

Die BIM-Methode vermittelt einen linearen Planungsprozess, was zur Folge hat, dass der Grad der Ausarbeitung an der Konkretisierung von Informationen gemessen wird. Beispielsweise kann in einer frühen Planungsphase ein Fenster aus einer Herstellerbibliothek in das digitale Modell eingefügt werden. Das Fenster besitzt einen sehr hohen Level of Detail; es ist dreidimensional vollumfänglich dargestellt und enthält sämtliche baulichen Details vom Rahmenprofil bis hin zum Fenstergriff. Die Diskrepanz zwischen Level of Detail und Level of Development ist an diesem Beispiel gut erkennbar. Obwohl in dieser frühen Planungsphase möglicherweise noch nicht entschieden ist, welches Fenster eingebaut werden soll, suggeriert der Level of Detail bereits einen hohen Fertigstellungsgrad (Level of Development) und lässt gleichzeitig auf einen hohen Verlässlichkeitsgrad aller Informationen schließen, wenn kein entsprechender Hinweis gegeben ist, bzw. die Begriffe missverständlich verwendet werden.

In Abschnitt 4.2.5 erfolgt eine tiefergehende Diskussion über die Bedeutsamkeit einer Unterscheidung zwischen den Level of Detail (Detaillierungsgrad) und den Level of Development (Fertigstellungsgrad).

### 2.3.3. Level of Geometry und Level of Information

Das Level of Detail wird in der Folge durch den Begriff des Level of Geometry ersetzt und mit LOG abgekürzt, um eine Verwechslung auszuschließen. Der Input an semantischen Informationen wird in der Literatur mit Level of Information und der Abkürzung LOI angegeben (Hausknecht & Liebich, 2016; Van Treeck, 2016). Es sei bereits an dieser Stelle der Hinweis gegeben, dass die Bezeichnung Level of Information (LOI) in der eigenen Arbeit nicht verwendet wird. Die Nähe zum Begriff Level of Development suggeriert, dass das Level of Information einen gleichen Levelaufbau besitzt. Die Mehrheit der Autoren ist sich jedoch einig, dass das Level of Information nicht in mehrere Level strukturiert werden kann (vgl. Hausknecht & Liebich (2016); Kaden *et al.* (2017)). Der Input an semantischen Informationen wird aus diesem Grund als Attribute bezeichnet.

Die geometrischen Informationen lassen sich in Eingangswerte wie Länge, Breite, usw. und Auswertungsinformationen wie Fläche, Volumen und weitere, gliedern. Folgende Aspekte können in einer geometrische Beschreibung eines Modellelements enthalten sein (auszugsweise nach (Schatz, 2018)):

- Abmessungen (Länge, Breite, Tiefe oder Höhe)

- Form (geometrische Primitive, Freiformflächen und -körper)
- Parametrisierung (Formabmessungen in Abhängigkeit von Eigenschaftswerten)
- Abstände und Kollisionskörper (Funktionsbereiche z. B. Öffnungsradien, Mindestabstände z. B. aus Schutzgründen benachbarter Gebäude)
- Konnektoren (an welchen Stellen können Verbindungen mit anderen BIM-Objekten hergestellt werden)
- Weiter Informationen zur Visualisierung (z. B. Farbe und Texturen)

Level of Geometry (LOG) ist die neue Bezeichnung für den Level of Detail und ist bereits in Abschnitt 2.3.2 erläutert. Attribute bezeichnen die semantischen Informationen, die einem Modellelement angehängt werden. Hierbei handelt es sich um jegliche Informationen, die nicht geometrischer Natur sind, sondern beispielsweise alphanumerisch wie die Betonfestigkeitsklasse (Van Treeck, 2016). Die Anzahl und die Tiefe der semantischen Informationen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die Projektspezifität, das jeweilige Fachmodell und der geplante Verwendungszweck des BIM-Modells üben Einfluss auf die Attribute eines Modellelements (Kaden *et al.*, 2017; Hausknecht & Liebich, 2016). Van Treeck (2016) schlägt daher vor, die Informationstiefe vor Projektbeginn zu vereinbaren und in einer AIA festzuhalten. Im Gegensatz zum Level of Geometry wird eine generische Abstufung der semantischen Eigenschaften selten vorgenommen und die Attribute beispielsweise in Form von Tabellen festgelegt. Die strukturierte Festlegung fällt auch aufgrund vieler unterschiedlicher Informationsbereiche schwer. Ein Überblick über mögliche semantische Informationsbereiche nach Schatz (2018) ist in folgender Auflistung gegeben (auszugsweise):

- Klassifizierungsmerkmale
- Materialien
- Funktionsmerkmale (z. B. Zustände offen/geschlossen)
- Abnahme und Gewährleistung (Abnahmedatum, Gewährleistungsfrist)
- Planungs- und Ausführungsdokumentation (Modellautor, Revisionsnummer)
- Kosten und Logistik

In BIMForum (2018) ist ebenfalls zu erkennen, wie schwer der Fachwelt eine allgemeine Definition der semantischen Informationen fällt. Der standardmäßige Satz: „Nicht-grafische Informationen können dem Modellelement ebenfalls hinzugefügt werden“ lässt viele Fragen offen und birgt die Gefahr einer Informationsüberladung (Hausknecht & Liebich, 2016). Diese Fragen werden in Kapitel 4 mit der Vorstellung des eigenen Konzepts spezifiziert und diskutiert.

#### 2.3.4. Internationale LOD-Definitionen - Ein kurzer Vergleich

Die Dokumente des *BIMForums* und des *American Institute of Architects* dienen seit ihrer Veröffentlichung als meistverwendete Referenz für BIM-Guidelines verschiedener Nationen – darunter Australien, Kanada und Singapur (Bolpagni, 2016). Verschiedene BIM-Spezialisten aus unterschiedlichen Nationen interpretierten das ursprüngliche Konzept von *Vico Software* für ihre eigenen, teilweise länderspezifischen Anforderungen, weshalb das heute eine uneinheitliche Auffassung über Modellierungsgrade und besonders über das Akronym LOD besteht (Baldwin, 2018).

Die British Standards Institution (2013) veröffentlichte das *PAS 1192-2* Dokument, in dem der Begriff des *Level of Definition* verwendet wird. Nach der Definition umfasst der Begriff den *level of model detail* und *level of information detail*. Ersteres steht für den grafischen Inhalt und letzteres für den nicht-grafischen Inhalt von Modellen. Das 2013 veröffentlichte Dokument enthält sieben Level (LOD 1–7) und verbindet entgegen dem BIMForum (2018) eindeutig die *Level of Definition* mit den britischen Projektphasen (British Standards Institution, 2013). Die *Level of Definition* geben mitunter an, für welche Anwendungsfälle die Informationen des Modells verlässlich sind. In Neuseeland dagegen wird das Level of Development aus vier verschiedenen Aspekten zusammengesetzt: *Level of Detail*, *Level of Accuracy*, *Level of Information* und *Level of Coordination*. Dänemark führte 2007 die *Information Levels* 0–6 für geometrische und semantische Informationen eines Modellelements ein (Tredal *et al.*, 2016; Bolpagni, 2016).

Auf deutscher Seite wurden aufgrund der Verwechslungsgefahr von Level of Detail zu Level of Development eigene Übersetzungen eingeführt. So bezeichnen Egger *et al.* (2013) das Level of Development als Fertigstellungsgrad, während der Verband Beratender Ingenieure (2016) den Begriff Modellierungsgrad wählt.

Eine interessante und anschauliche Zusammenfassung der LOD-Historie ist im Blogbeitrag von Bolpagni (2016) gegeben. Es sei darauf hingewiesen, dass in dem Blogbeitrag nicht genau zwischen offiziellen Guidelines der Nationen und nicht offiziellen Beiträgen von BIM-Spezialisten differenziert wird. Beispielsweise wird in Tabelle 2 des Beitrags ein LOD (–100) für Deutschland ausgewiesen, das allerdings aus einem Interpretationsfehler der Autorin eines Zeitungsbeitrages von Drobnik & Riegas (2015) entstanden ist und nicht existiert.

Während die Einführung der BIM-Methode hinsichtlich Regularien und Standards in anderen Ländern bereits fortgeschritten ist, befindet sich Deutschland noch in der Entwicklungsphase (Helmus *et al.*, 2017). Mit der Gründung der *planen-bauen 4.0 GmbH* wurde ein erster Schritt in Richtung Harmonisierung getätigt. Aus der Wirtschaft haben sich Verbände, Kammern und Unternehmen mit dem BMVI zusammengeschlossen, um eine eindeutige Position zu beziehen. Es wurde sich jedoch bisher noch nicht auf eine einheitliche Definition der Beschreibung von Modellinhalten festgelegt (Egger *et al.*, 2013; Helmus *et al.*, 2017).



## 3. Aktueller Forschungsstand

Zu den definatorischen Unklarheiten über die Erfassung des Fortschritts und des Informationsgehalts von BIM-Modellen, kommt eine Fokussierung auf den Hochbau hinzu, sodass innerhalb der LOD-Thematik in den letzten Jahren reges Forschungsinteresse in Deutschland entstanden ist.

Im nachfolgenden Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand verschiedener Autoren wiedergegeben, die in den letzten drei Jahren in Deutschland erschienen sind.<sup>1</sup> Die anschließende Aufarbeitung und Diskussion in Abschnitt 4.2 liefert Erkenntnisse für die eigene Arbeit. Die Masterarbeiten der Autoren Mini (2016), Papantonakis (2018) und Goldenbaum (2017) sind besonders für einen Vergleich geeignet, da sie ebenfalls für den Infrastrukturbereich entwickelt wurden und in Zusammenarbeit mit einem Planungsbüro entstanden. So konnten die Autoren ihre Hypothesen an einem Praxisbeispiel überprüfen.

### 3.1. Elementbezogene, fachmodellbezogene und bereichsmodellbezogene Ansätze

Für ein besseres Verständnis der nachfolgenden Abschnitte, werden die Begriffe bauteilbezogener, fachmodellbezogener und bereichsmodellbezogener Ansatz vorgestellt.

Die Literaturrecherche ergibt, dass ein Konzept zur Beschreibung der Modellinhalte verschiedene Domänen eines BIM-Modells adressieren kann. Eine Domäne bezeichnet die Fachperspektive und Konzeption eines Modells (Borrmann *et al.*, 2015). *The American Institute of Architects* richtete die Beschreibung der LOD ursprünglich auf das Bauwerksmodell und einzelne Bauteile bzw. Elemente aus. Dieser Ansatz wird in den nachstehenden Ausführungen als elementbezogener bzw. bauteilbezogener Ansatz bezeichnet.

In Deutschland verfolgen verschiedene Autoren (vgl. Verband Beratender Ingenieure (2016); Papantonakis (2018); Goldenbaum (2017)) das Ziel, die internationale LOD-Struktur dem deut-

---

<sup>1</sup>Die Überschriften der einzelnen Abschnitte stellen nicht die ursprünglichen Titel der Veröffentlichungen dar, sondern wurden aufgrund deren Länge frei gekürzt.

schen Preisrecht nach der HOAI anzupassen. Mit einer eins-zu-eins-Zuordnung der LOD zu den Leistungsphasen, erhalten alle Elemente eines Modells und innerhalb einer Leistungsphase den gleichen Detaillierungsgrad. Das *BIMForum* bezeichnet diese Modelle als *LOD-###-Modelle*. Die #-Symbole stehen für ein beliebiges Level of Development (z. B. LOD-300-Modell). Diese neue Herangehensweise wird in nachfolgend als fachmodellbezogener Ansatz bezeichnet. Erfolgt die Definition für einen räumlichen Ausschnitt des Bauwerksmodells, wird dieser Ansatz als bereichsmodellbezogen bezeichnet. Ein Bereichsmodell kann aus verschiedenen Fachmodellen bestehen. Ein Beispiel hierfür ist das Modell eines Tunnelquerschnitts, das beispielsweise aus dem Trassenmodell der Versorgungsleitungen und dem Massivbaumodell zusammengesetzt ist. Die angesprochenen Konzepte adressieren nun nicht mehr einzelne Bauteile, sondern stellen vielmehr übergeordnete Konzepte für Fachmodelle oder Bereichsmodelle dar.

## 3.2. Mini (2016) – Ein LoD Konzept für digitale Bauwerksmodelle von Brücken

Mini (2016) untersucht in ihrer Masterarbeit die „Entwicklung eines LoD Konzepts für digitale Bauwerksmodelle von Brücken und dessen Implementierung“ (Mini, 2016). Die Autorin führt die Beschreibung des Informationsgehalts elementbezogen aus und beschreibt einzelne Bauteile des Brückenbaus wie Widerlager, Kappe, Lärmschutzwand usw. sind in Tabellen von LOG 200 bis LOG 400 grafisch und mit textlicher Ergänzung. Damit folgt der Autorin der LOD-Spezifikation aus *BIMForum* (2018). Die Attributbestimmung erfolgt in Abhängigkeit des Anwendungsfalls und des jeweiligen Level of Geometry in Tabellenform.

Das LOG 100, das nach Mini (2016) aufgrund der Definition keine grafische Darstellung erfordert und der *as-built*-Zustand (LOG 500), der in der Theorie dem LOG 400 entspricht, werden nicht abgebildet. Mini (2016) führt für vorgefertigte Bauteile das LOI und LOG 450 ein. Das LOI und LOG 450 ergänzt die geometrische Darstellung mit spezifischen Informationen, die für Herstellung, Installation und Montage der vorgefertigten Bauteile notwendig sind. Das LOD 350 des *BIMForums* wird nicht verwendet. Es wird, mit den oben genannten Ausnahmen, dem Konzept des *BIMForum* gefolgt (vgl. Tabelle 2.6). Für das Level of Development übernimmt Mini (2016) nach Hausknecht & Liebich (2016) folgende Formel: „LoD = LoG + LoI (Level of Development = Level of Geometry + Level of Information)“.

Mini (2016) gibt keine Zuordnung der Level of Geometry zu den Leistungsphasen vor, sondern gibt Orientierungswerte an, die in Tabelle 3.1 abgebildet sind. Die bauteilbezogene Definition ermöglicht verschiedene Level of Geometry innerhalb eines Modells.

Mini (2016) trifft die Auswahl der modellierten Bauteile mit dem Klassifikationssystem der Straßeninformationsdatenbank ASB-ING und richtet die LOG-Darstellung an die Anforderungen

**Tabelle 3.1:** Empfohlene Zuordnung der LOG zu den LPH nach Mini (2016)

Grundlagenermittlung	LPH 1	LOG 100
Vorplanung	LPH 2	LOG 200
Entwurfsplanung	LPH 3	LOG 300
Genehmigungsplanung	LPH 4	LOG 300
Ausführungsplanung	LPH 5	LOG 400
Werk- und Montageplanung	-	LOG 450
As-Built	-	LOG 500

der *Richtzeichnungen für Ingenieurbauten* (standardisierte Detaillösungen für die Konstruktion von Brückenbauteilen). Die Autorin nennt zudem sieben Anwendungsfälle, die für das Brücken-Konzept berücksichtigt werden (eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle liegt nicht vor):

- Planableitung
- 4D-Modell
- 5D-Modell
- Kollisionsprüfung
- Mengenermittlung
- Kostenermittlung
- Unterhalt, Betrieb, Instandsetzung

Die Benennung der Attribute in den LOI-Tabellen erfolgt anhand der Level of Geometry und den oben genannten Anwendungsfällen. Jedes Attribut wird zuerst über das LOG und dann über den jeweiligen Anwendungsfall bestimmt. Dabei erstellt Mini (2016) ihre Attribut-Tabellen bauteilbezogen, fasst die Bauteile jedoch zu Gruppen zusammen, um die Anzahl der Tabellen zu verringern. In Tabelle 3.2 ist eine schematische Darstellung abgebildet. Die ‚X‘ kennzeichnen die erforderlichen Attribute. Nach der Definition von Mini (2016) werden dem LOG 100 keine semantischen Informationen zugeordnet.

**Tabelle 3.2:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Mini (2016)

Bauteil X	LOG X			LOG Y		
	AwF X	AwF Y	...	AwF X	AwF Y	...
Attribut 1	X			X	X	
Attribut 2				X		
⋮						

Im Anwendungsbeispiel untersucht Mini (2016) die geometrischen und semantischen Bearbeitungstiefen des Modells innerhalb der HOAI-Leistungsphasen. Es werden die LPH 2 (*Vorplanung*) und LPH 3 (*Entwurfsplanung*) sowie die LPH 6 und 7 (*Ausschreibung*) betrachtet. Der Fokus des Praxisbeispiels liegt auf der Durchführung der Planableitung, der Mengen- und Kostenermittlung sowie der Kollisionsprüfung.

In der *Vorplanung* wurden Variantenentscheidungsmodelle erstellt, die auch für die Überprüfung der Projekt-Randbedingungen eingesetzt werden. Aus der entsprechenden LOG-Tabelle geht hervor, dass für die Vorplanung ein LOG 200 ausreichend ist. Für die Entwurfsplanung wird das Level of Geometry aller Bauteile (mit Ausnahme des Fahrbahnbelags und der Lärmschutzwand) auf ein LOG 300 erhöht. Basierend auf dem BIM-Abwicklungsplan des Projekts und der *Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten* wurden dem Modell weitere Attribute hinzugefügt, damit unter anderem eine Bauteilliste erstellt werden kann. Mini (2016) gibt an, dass die ermittelten semantischen Informationen aus der LPH 3 für die *Ausschreibung* in LPH 5 ausreichend sind und keine neuen Informationen benötigt werden. Gleiches gibt Mini (2016) für die geometrische Darstellung bekannt, sodass in der LPH 6 und 7 die Bauteile im LOG 300 modelliert sind. Das von Mini (2016) definierte LOG 450 fand im Anwendungsbeispiel keine Anwendung.

In der Auswertung des Anwendungsbeispiels unterstreicht Mini (2016) die Abhängigkeit der Attribute von den Anwendungsfällen. Während in der *Entwurfsplanung* für die Simulation des tatsächlichen Bauablaufs mithilfe des 4D-Modells, nur die Informationen über den Baustoff und die Baustoffklassifikation notwendig sind, werden für die Planableitung weitere Informationen benötigt. Darunter fallen zum Beispiel die Expositionsklasse, der geschätzte Bewehrungsgehalt und der geschätzte Spannstahlgehalt, die alle nach Vorgaben der *Richtzeichnungen für Ingenieurbauten* auf dem Entwurfsplan in der Tabelle Baustoffkennwerte aufgelistet werden.

### 3.3. Goldenbaum (2017) – Prüfung der Anwendbarkeit gegenwärtiger LOD-Definitionen auf den Straßenbau

Goldenbaum (2017) prüft in ihrer Masterarbeit die „[...] Anwendbarkeit gegenwärtiger LOD-Definitionen zum modellbasierten Arbeiten im Straßenbau im Vergleich zum Hochbau“ (Goldenbaum, 2017). Die Untersuchung behandelt die Kongruenz zwischen den LOD-Definitionen des *BIMForums*, den Anforderung an den Modellinhalt aus dem Straßenbau und den Leistungsphasen nach HOAI. Eine Variantenuntersuchung beantwortet die Frage, ob eine strukturierte oder eine unstrukturierte Anpassung der internationalen LOD-Struktur an die HOAI vorzunehmen ist. Anschließend nimmt Goldenbaum (2017) eine Neudefinition der

Level of Development für den Straßenbau vor und wendet das Konzept an einem Praxisbeispiel an.

Die Beschreibung des Modellinhalts erfolgt mit einer „nicht-objektorientierten“ Definition, die dem bereichsmodellbezogenen Ansatz entspricht. Die Fachmodelle eines Infrastrukturmodells werden demzufolge als Modellelemente erfasst und mithilfe der Level of Development hinsichtlich der Anforderungen an den Modellinhalt beschrieben. Die Autorin wählt diesen Ansatz, da der bauteilbezogene Ansatz aus dem Hochbau aufgrund der „geringen Wiederholungsrate von komplexen geometrischen Formen“ im Straßenbau nicht auf diesen übertragbar ist. Es werden das 3D-Geländemodell, 3D-Trassenmodell, 3D-Baugrundmodell, 3D-Baugrubenmodell und das 3D-Bauwerksmodell von Straßenbauprojekten betrachtet.

Die Arbeit legt den Fokus auf die generische Beschreibung der geometrischen Repräsentation in Textform. Eine grafische Darstellung der Level of Geometry erfolgt innerhalb des Anwendungsbeispiels. Die Definition der Anforderungen an die Attribute wird in der Arbeit nicht vorgenommen. Aufgrund fehlender deutscher Standards übernimmt Goldenbaum (2017) die Formulierung von Hausknecht & Liebich (2016) für das Level of Development als Verknüpfung der geometrischen und semantischen Informationen.

Die LOD-Definition des *BIMForums* wird zunächst für den Straßenbau interpretiert und anschließend in eine Struktur mit einer „HOAI konforme[n] Abfolge“ und einer „nicht HOAI konforme[n] Abfolge“ eingesetzt. In der ersten Variante ist die ursprüngliche Abfolge der Level eingehalten, währenddessen Variante 2 eine losgelöste Betrachtungsweise („LOD  $\neq$  LPH“) untersucht.

Der wesentliche Unterschied aus der Gegenüberstellung beider Varianten liegt im Überspringen des LOD 200 in der „nicht HOAI konforme[n] Abfolge“. Nach Goldenbaum (2017) ist eine Modellierung von Straßenbauprojekten mit ungefähren Abmessungen und Geometrien, wie es die Formulierung des *BIMForums* für das LOD 200 vorgibt, nicht praktikabel. Der Grund wird in der hohen Genauigkeit der Vermessungsergebnisse genannt, mit denen bereits in frühen Planungsphasen eine unter anderem exakte Straßenbreite festgelegt wird. Das LOD 200 ist somit nach Goldenbaum (2017) für ein 3D-Geländemodell und ein 3D-Trassenmodell nicht geeignet.

Goldenbaum (2017) spricht sich zudem für einen einheitlichen Fertigstellungsgrad aller Fachmodelle innerhalb einer Leistungsphase aus. Der Modellierungsübergang im Straßenbau von einem Fachmodell zu einem anderen wird als fließend beschrieben und ruft nach Aussagen der Autorin starke Abhängigkeiten hervor. Ein Modellierungsübergang tritt auf, wenn beispielsweise in Leistungsphase 3 auf Basis des 3D-Geländemodell ein 3D-Trassenmodell erstellt wird. Die nicht HOAI-konforme Abfolge der LOD unterstützt diesen Modellierungsprozess, währenddessen Variante 1 eine „durchgängige Planung“ unterbindet (Goldenbaum, 2017). Diese Aussage folgt

ebenfalls aus der Diskussion um die Zweckmäßigkeit des LOD 200. Mit den Erkenntnissen aus der Variantenuntersuchung wird das Auslassen des LOD 200 empfohlen.

Die Erkenntnisse aus der Interpretation der LOD-Definition des *BIMForums* und der Variante um die „nicht HOAI konforme Abfolge“ werden abschließend in die Neudefinition für den Straßenbau integriert. Tabelle 3.3 zeigt die Zuordnung der Leistungsphasen zu den Level of Development nach der Neudefinition von Modellinhalten für den Straßenbau von Goldenbaum (2017).

**Tabelle 3.3:** Zuordnung der LOD zu den LPH nach Goldenbaum

LOD 100	LPH 2
LOD 200	—
LOD 300	LPH 3
LOD 350	LPH 3
LOD 400	LPH 4
LOD 500	LPH 5

### 3.4. Papantonakis (2018) – Ein Konzept zur Beschreibung der Level of Detail für Tunnelbauwerke

Die Masterarbeit von Papantonakis (2018) handelt von der „Entwicklung eines Konzepts zur Beschreibung der Level of Detail zur Anwendung der Building Information Modeling Methode für Tunnelbauwerke“ (Papantonakis, 2018). Das LOD-Konzept ist auf den Querschnitt eines Tunnelbauwerks ausgelegt und daher bereichsmodellbezogen aufgebaut. Das Modell erhält mit steigendem LOG eine höhere Anzahl an Elementen. Papantonakis (2018) verfolgt das aus der Geoinformatik bekannte Prinzip der Generalisierung, bei der kleinere oder unbedeutende Elemente erst mit zunehmendem Detaillierungsgrad modelliert werden (vgl. Kaden *et al.* (2017)).

Im LOG 100 besteht die digitale Abbildung des Tunnelquerschnitts aus den Elementen „TunnelRaum [sic!]“ und „Alignment“. Im darauffolgenden LOG wird der „TunnelRaum [sic!]“ in „TunnelRinge [sic!]“, „HohlRaum [sic!]“ und „Innenraum“ unterteilt und mit „groben“ Abmessungen modelliert (Papantonakis, 2018). Dieser Unterteilungsprozess wird für jedes weitere Level fortgeführt, bis im LOG 400 der Querschnitt aus „TunnelSegmente [sic!]“, „Oberleitung“, „Ampeln“ und weiterer Ausstattung besteht. Papantonakis (2018) bezeichnet die modellierten Elemente als „Platzhalterkörper“. Eine Einzeldarstellung der Komponenten wird nicht vorgenommen.

Zusätzlich Papantonakis (2018) unterteilt die Objekte analog zu Borrmann *et al.* (2015) in „Raum-Objekte“ und „physikalische-Objekte“, um die Modellgröße gering zu halten und bei einer Kollisionsprüfung Fehlermeldungen aufgrund von Überlappungen von Elementen zu vermeiden (ursprüngliche Bezeichnung nach Borrmann *et al.* (2015): „Space Objects“ und „Physical Objects“).

Die allgemeine Definition der Modellinhalte richtet sich nach den Empfehlungen des *BIMForums*. Das Level of Geometry und das Level of Information werden getrennt betrachtet und anschließend unter dem Begriff Level of Development zusammengefasst. Eine Abwandlung stellt das von Papantonakis (2018) neu eingeführte LOD 0 dar, das nicht weiter beschrieben wird. Das LOD 350 wird in der Spezifikation nicht dargestellt.

Papantonakis (2018) ordnet die Level of Geometry direkt den Leistungsphasen der HOAI zu. Das neu eingeführte LOG 0 wird der LPH *Grundlagenermittlung* zugeteilt. Die Zuordnung schließt mit dem LOG 500 (*as-built*) und dem Übergang zwischen LPH 8 (*Objektüberwachung*) und LPH 9 (*Objektbetreuung und Dokumentation*) ab. Eine Übersicht der Zuordnung ist in Tabelle 3.4 gegeben.

**Tabelle 3.4:** Zuordnung der LOG zu den LPH nach Papantonakis

LPH 1	LOG 0
LPH 2	LOG 100
LPH 3 und 4	LOG 200
LPH 5 bis 7	LOG 300
LPH 8	LOG 400
LPH 9	LOG 500

Papantonakis (2018) definiert die Level of Development für die folgenden sieben Anwendungsfälle:

- Planungsvariantenuntersuchung
- 3D-Modell Visualisierung
- Planableitung
- Kollisionsprüfung
- Terminplanung (3D-Modell + Zeit)
- Kostenermittlung (3D-Modell + Zeit + Mengenermittlung)
- Nutzung für Betrieb, Erhaltung und Instandsetzung

Der schematische Aufbau einer Attribut-Tabelle nach Papantonakis (2018) ist in Tabelle 3.5 dargestellt. Die vom Autor vorgenommene Zuordnung der LOD zu den Leistungsphasen

spiegelt sich auch in der Attribut-Tabelle wieder. Die semantischen Eigenschaften werden je Bauteil nach den Leistungsphasen und den Anwendungsfällen ausgewählt. Papantonakis (2018) führt in der Attribut-Tabellen neben den alphanumerischen Attributen auch die geometrischen Auswertungsinformationen auf.

**Tabelle 3.5:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Papantonakis (2018)

Bauteil X	LPH X		
	LOD X		
	Attribut 1	Attribut 2	...
Anwendungsfall X	X	X	
Anwendungsfall Y		X	
⋮			

Mithilfe eines Praxisbeispiels untersucht Papantonakis (2018) die Anwendungsfälle 3D-Modell Visualisierung in LPH 2, Kostenermittlung in LPH 3 und Kollisionsprüfung in LPH 5–7. Aufgrund der vorgenommenen Zuordnung der Level of Geometry zu den Leistungsphasen, erfolgt die 3D-Modell Visualisierung in LPH 2 mit dem LOG 100 als „grobes Konzeptmodell-Volumenmodell“. In Leistungsphase 3 wird der Tunnel im LOG 200 modelliert und die Kostenermittlung durchgeführt. Die Geometrie beschreibt der Autor als „einfache[s] Konzeptmodell-Platzhalterkörper“ und ergänzt Materialinformationen und Informationen zur Bewehrung. Zusätzlich führt er die Attribute „Volume“ und „Abmessungen“ hinzu, um die Kostenermittlung zu erstellen. Es ist an dieser Stelle nicht eindeutig, ob die Attribute aus dem Modell kommen oder vom Nutzer eingegeben werden. Zuletzt werden die Leistungsphasen *Ausführungsplanung*, *Vorbereitung der Vergabe* und *Mitwirkung bei der Vergabe* zusammengefasst und der Anwendungsfall Kollisionsprüfung untersucht. Dafür reduziert er die Anzahl der Attribute um die zuvor eingeführten „Volume [sic!]“ und „Abmessungen“ und erhöht das Level of Geometry auf ein LOG 300 mit exakten Geometrien.

Papantonakis (2018) folgert aus dem Anwendungsbeispiel, dass eine klare Festlegung der BIM-Ziele in einer Auftraggeber-Informationsanforderung essenziell für eine Konzeption von LOD-Spezifikationen ist, um den Informationsbedarf in jeder Planungsphase zu identifizieren. Er rät gleichzeitig davon ab, die Tabellen zu komplex und zu detailliert zu definieren, da sich dies während der Bearbeitung als kontraproduktiv erweist.



## 3.5. Weitere Veröffentlichungen mit relevantem Themeninhalt

Der nachfolgende Teil stellt weitere Arbeiten vor, die bezüglich ihres Themenbezugs als relevant für das eigene Konzept bewertet werden.

### 3.5.1. Egger et al. (2013) – BIM-Leitfaden für Deutschland

Der *BIM-Leitfaden für Deutschland* von den Autoren Egger *et al.* (2013) entstand im Zuge des Forschungsprogramms *ZukunftBau* des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (heute BMVI). Der Leitfaden ist von hoher Relevanz für die deutsche BIM-Kultur, auch wenn er nicht als Richtlinie, sondern als Ratgeber zum Einstieg in die BIM-Methode, zu sehen ist.

Es wird seitens der Autoren ebenfalls auf die Thematik des Modellinhaltes eingegangen und auf die Level of Development der NATSPEC (2013) verwiesen, die wiederum auf dem Dokument *E202<sup>TM</sup>—2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit* des American Institute of Architects (2008) basieren. Das Level of Development wird innerhalb des *BIM-Leitfadens* als Fertigstellungsgrad bezeichnet.

Die Autoren Egger *et al.* (2013) legen den Fokus auf den Hochbau sowie auf das Architekturfachmodell und geben an, dass verschiedene Fachmodelle innerhalb einer Leistungsphase unterschiedlichen Fertigstellungsgraden entsprechen können. Der Leitfaden weist darauf hin, dass verschiedene Fertigstellungsgrade während einer frühen Koordination zu Problemen führen können, wenn ein Fachmodell von den Ergebnissen eines anderen Fachmodells abhängig ist.

Neben der bauteilbezogenen Abbildung der Level of Development des NATSPEC (2013) bildet der Leitfaden Beispiele für den Modellinhalt in den jeweiligen Leistungsphasen der HOAI ab. Die Beschreibung gibt Hinweise auf einen möglichen Einsatz des Modells. Ab der LPH 2 wird zusätzlich der Fertigstellungsgrad des Modells angegeben. Die Tabelle 3.6 zeigt die entsprechende Zuordnung nach Egger *et al.* (2013) und gibt auszugswise eine Beschreibung des Inhalts wieder.

**Tabelle 3.6:** Zuordnung der Fertigstellungsgrade zu den Leistungsphasen nach Egger et al. (2013)

LPH 1	kein Bauwerksmodell
LPH 2	Fertigstellungsgrad 100
LPH 3	Fertigstellungsgrad 200
LPH 4	Fertigstellungsgrad 300
LPH 5	Fertigstellungsgrad 400
LPH 9	Fertigstellungsgrad 500

Die Detaillierung der Modellelemente erfolgt am Beispiel einer Tür für die Fertigstellungsgrade 200, 300 und 400. Es wird angegeben, dass eine Modellierungsvorschrift innerhalb des *BIM-Leitfadens* nicht erfolgen kann. Das Beispiel der Tür bietet für das eigene Konzept keinen Mehrwert und wird daher nicht weiter ausgeführt.

### 3.5.2. Verband Beratender Ingenieure (2016) – BIM-Leitfaden für die Planerpraxis

Der Verband Beratender Ingenieure (VBI) leistet seinen Beitrag an der Implementierung der BIM-Methode in Deutschland mit dem *BIM-Leitfaden für die Planerpraxis* (Verband Beratender Ingenieure, 2016). Der Leitfaden beschreibt den Einsatz einer AIA und einer BAP und gibt eine Definition zum geforderten Modellinhalt ab. In der AIA wird die Beschreibung der unternehmens- und projektspezifischen BIM-Anforderungen konkret vorgenommen. Daraus ergibt sich die Anforderung an den phasenbezogenen Informationsgehalt (Verband Beratender Ingenieure, 2016).

Aufgrund der in Abschnitt 2.3.2 ebenfalls beschriebenen Verwechslungsgefahr der Akronyme von Level of Detail und Level of Development, führt der *VBI* den Begriff des Modelldetaillierungsgrad (MDG) ein. Die Basis der Beschreibung der MDG bilden weiterhin die LOD des *BIMForums*. Analog zu den Definitionen des BIMForum (2018), bilden die MDG eine Kombinationen aus einem geometrischen und einem semantischen Informationsgrad und geben zudem die Belastbarkeit der Informationen bekannt. Es wird seitens des *VBI* bewusst „[...] die Nähe zu den Leistungsbildern HOAI gesucht und in den Vordergrund gestellt“. Daraus ergibt sich der Grundsatz des *VBI*, nachdem das Leistungsbild der HOAI den Modelldetaillierungsgrad bestimmt. Nach diesem Ansatz haben alle Modellelemente in einer Leistungsphase den gleichen Modelldetaillierungsgrad.

Die Abstufung erfolgt analog zum *BIMForum* in geometrischer Hinsicht in 100er-Schritten. Eine Änderung stellt die Einführung von 10er-Schritte dar, die die Anreicherung der alphanumerischen Informationen beschreiben. Die nachfolgende Tabelle 3.7 zeigt die Zuordnung der MDG zu den Leistungsphasen und der Angaben des *VBI*, nach welchen die gewählten MDG den Level of Development des BIMForums entsprechen, beziehungsweise keine Entsprechung vorliegt. Anschließend an die LPH 9 erfolgt die Objektbetreuung, die einem MDG 510 entspricht und der Betrieb (Facility Management), der einem MDG 600 zugeordnet wird. Den letztgenannten Modelldetaillierungsgraden kann seitens des *VBI* kein LOD zugewiesen werden (Verband Beratender Ingenieure, 2016).

Nach den Empfehlungen des *VBI* wird in der Leistungsphase 1 kein 3D-Modell erstellt und nur die Übernahme oder Erstellung eines Bestandsmodells empfohlen. Das MDG 100 entspricht nach dem Verband Beratender Ingenieure (2016) dem LOD 100, enthält aber eine höhere

**Tabelle 3.7:** Zuordnung der MDG zu den LPH nach Verband Beratender Ingenieure (2016)

LPH 1	MDG 010	keine Entsprechung bei US LOD
LPH 2	MDG 100	Entspricht etwa US-LOD 100
LPH 3	MDG 200	Entspricht etwa US-LOD 200
LPH 4	MDG 210	keine Entsprechung bei US LOD
LPH 5	MDG 300	Entspricht etwa US-LOD 300
LPH 6	MDG 310	keine Entsprechung bei US LOD
LPH 7	MDG 320	keine Entsprechung bei US LOD
LPH 8	MDG 400	Entspricht etwa US-LOD 400
LPH 9	MDG 510	keine Entsprechung bei US LOD
Betrieb	MDG 600	keine Entsprechung bei US LOD

Detailierung, sodass beispielsweise das Tragwerk mit seinen relevante Daten wie Flächen, Längen und Höhen beschrieben werden kann.

In der Entwurfsplanung besteht das Modell aus verschiedenen Fachmodellen im MDG 200. Die dargestellten Modellelemente sind nun allgemeingültige Bauteile oder Bauteilgruppen.

Für die Genehmigungspläne wird der Grad der grafischen Darstellung nicht erhöht, sondern um die erforderliche semantische Informationstiefe erweitert, sodass sich daraus das MDG 210 ergibt. In der Ausführungsplanung werden die Modellelemente im MDG 300 modelliert, was nach dem VBI eine präzise, spezifische und ausführungsfähige Darstellung der Bauteile oder Bauteilgruppen ist, die mit Detailzeichnungen und Detailinformationen ergänzt werden kann.

Das Modell der Leistungsphase 8 (Objektüberwachung) wird als MDG 400-Modell abgebildet und in der Regel von den ausführenden Baufirmen vor der Bauausführung erstellt (Verband Beratender Ingenieure, 2016). Aus diesem Modell werden Werk- und Montagepläne abgeleitet. Im Verlauf der Leistungsphase 8 wird das MDG 400-Modell in den *as-built*-Zustand überführt. Auf die Objektbetreuung und den Betrieb wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen.

### 3.5.3. Van Treeck (2016) – Abstufung des Level of Information im LoG-I-C-L-Modell

Die Spezifikation des BIMForum (2018) wird von Van Treeck (2016) für die Umsetzung in einem Projekt als notwendig aber nicht hinreichend angegeben. Aus diesem Grund nimmt der Autor eine Neudefinition und Erweiterung vor, die die Bezeichnung *LoG-I-C-L-Modell* erhält. Die Buchstaben stehen für Geometry, Information, Coordination und Logistics. Dadurch nimmt Van Treeck (2016) eine Einteilung in den benötigten Modellinhalt (Geometrie und Information) und die erforderliche Modellqualität (Koordination und Logistik) vor. Das *LoG-I-C-L-Modell* knüpft an gängige Konzepte (*BIMForum – LOD-Specification, BSI – PAS 1192-2:2013*) an, in dem es die einzelnen Aspekte in sechs Stufen (Level 0–5) gliedert und so die Modelltiefe beschreibt.

Van Treeck (2016) nimmt in dieser Veröffentlichung keine explizite Verknüpfung von den LOI zu den Leistungsphasen vor, sondern verweist auf eine noch nicht veröffentlichte Arbeit. In LOI 2 und 3 weist Van Treeck (2016) darauf hin, dass die Erfüllung der zugeordneten LPH im Vordergrund steht und die semantischen Informationen darauf auszurichten sind. So steht in der Beschreibung des LOI 2 beispielsweise: „Dies erfolgt generisch, aber so spezifisch wie dies zur Erfüllung der zugeordneten Leistungsphase möglich und erforderlich ist (beispielsweise zur Kostenschätzung)“ (Van Treeck, 2016). Demnach ist es nach Van Treeck (2016) zunächst dem Anwender überlassen, welche Tiefe der semantischen Informationen einer Leistungsphase zugeordnet werden.

Das neu eingeführte *Level of Coordination* spricht die Anforderungen an eine Kollisionsfreiheit an. Es wird z. B. für ein *Level of Coordination 1* keine Kollisionsüberprüfung und für ein *Level of Coordination 3* ein kollisionsfreies Modell gefordert. Ein Konzept mit gleichem Akronym wird auch in den Spezifikationen Neuseelands verwendet (siehe Abschnitt 2.3.4). Das *Level of Logistic* beschreibt die Verknüpfung des Modells mit der Terminplanung. Beide Ansätze werden in der vorliegenden Arbeit nicht angewendet und daher nicht weiter ausgeführt.

Hingegen ist ein relevanter Aspekt die von Van Treeck (2016) getroffene Abstufung der Level of Information. Dadurch wird das Modell hinsichtlich seiner semantischen Attribuierung messbar und bewertbar, was nach Aussage von Van Treeck (2016) für die Spezifizierung der Anforderungen und Erwartungen hilfreich ist. Beginnend mit der kleinsten Stufe wird das LOI 0 in Van Treeck (2016) mit „keine Angaben verfügbar“ deklariert. Nachfolgend werden die Stufen detaillierter und sind in Anlehnung an das BIMForum (2018) als allgemein in LOI 1, als Mischform von generisch und spezifiziert in LOI 2 und als rein spezifiziert in LOI 3–5 abgegrenzt. Bis zu LOI 4 wird stets auf eine produkt- bzw. herstellerneutrale Ausschreibung verwiesen. Objekte sind erst in LOI 5 als herstellerspezifische Entitäten instanziiert. Dadurch ist eine produktspezifische Ausschreibung möglich (Van Treeck, 2016). Zusätzlich gibt Van Treeck (2016) Empfehlungen zu den nicht zu modellierenden Attributen. Exemplarisch wird das LOI 3 genannt: „Konkrete Angaben (wie Farbe, Beschlagart, Hersteller) werden nicht modelliert.“

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das *LoG-I-C-L-Modell* für die Technische Gebäudeausrüstung entwickelt ist. Aus diesem Grund ist eine direkte Übertragung der LOI 0–5 zum Schleusenbau nur bedingt möglich, da sich beispielsweise der Level of Information auf Produkte der Technischen Gebäudeausrüstung bezieht. Der beschriebene Ansatz ist für die eigene Konzeptentwicklung dennoch hilfreich. Es folgt daraus die Überlegung, ob eine generische Beschreibung und Abstufung der Level of Information ausreichend für die Beschreibung des semantischen Modellinhalts ist, oder ob geforderte Attribute vor der Projektbearbeitung genau festgelegt werden.

Eine ausführliche Beschreibung des *LoG-I-C-L-Modell* ist in Van Treeck (2016) Kapitel 6.2 „Neufassung von BIM-Modellentwicklungsgraden (Level of Development)“ gegeben.

### 3.5.4. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) – BIM im Spezialtiefbau

Das Positionspapier "BIM im Spezialtiefbau" des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) dient der Definition der Anforderungen von Modellinhalten und Schnittstellen im BIM-Prozess. Es ist für die vorliegende Arbeit von hoher Relevanz, da die Entwicklungen im Spezialtiefbau den Schleusenbau maßgeblich beeinflussen. Die Veröffentlichung adressiert vornehmlich die bauausführenden Spezialtiefbauunternehmen, liefert aber hinsichtlich der Attributbestimmung in der Ausschreibung und der Vergabe bedeutsame Hinweise.

Die für die eigene Arbeit wesentlichen Inhalte der Veröffentlichung stellen die Tabellen zu den Mindestanforderungen an verschiedene Elemente des Spezialtiefbaus dar. In den Tabellen werden eine Vielzahl an semantischen und geometrischen Attributen aufgeführt und den sogenannten *Datenaustauschszensarien* zugeordnet, die eine direkte Verknüpfung zu den Leistungsphasen ersetzen. Die Szenarien werden mit Ausschreibung, Ausführungsplanung, Werkplanung und Bestandsmodell bezeichnet. Das Bestandsmodell behandelt in diesem Fall das *as-built*-Modell der im Baugrund verbleibenden Bauteile.

Die Attribut-Tabelle bestimmt die Attribute für das jeweilige Austauschszenario, wie in Tabelle 3.8 schematisch dargestellt. Analog zu Mini (2016) und Papantonakis (2018) werden die benötigten Attribute mit einem ‚X‘ gekennzeichnet.

**Tabelle 3.8:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2016)

Bauteil X	Austauschszenario X	Austauschszenario Y	...
Attribut 1	X	X	
Attribut 2		X	
⋮			

Die Austauschszensarien werden inhaltlich kurz beschrieben und mit Informationen über den Lieferant und Empfänger des Modells angereichert. Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) gibt weiter an: „In diesem Positionspapier werden die Austauschszensarien nicht direkt mit einem konkreten LOD verbunden, sondern Mindestanforderungen an LOG und LOI typischer Elemente des Spezialtiefbaus definiert.“

Ein weiterer Aspekt ist die Unterscheidung in Bauteile und Bauteilgruppen, die innerhalb der grafischen Definition vorgenommen wird. Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) wählt für die Darstellung exemplarisch das Bauteil Pfahl und die Bauteilgruppe Pfahlwand. Im LOG 300 wird das Bauteil in die Bauteilgruppe eingebunden, wenn „die Pfahlwand nicht mehr als einzelnes Objekt sondern als Gruppe von Einzelpfählen“ dargestellt wird und die Anforderungen an die Einzelpfähle [...] unter 'LOG 300 Pfahl' definiert“ sind (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., 2017). Zuvor ist die Pfahlwand „idealisiert als Wandscheibe dargestellt“.

Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) verzichtet wie Mini (2016) und Papantonakis (2018) auf das LOG 350 und gibt stattdessen einen textlichen Hinweis zu einem LOG 450, indem „die exakte Darstellung der Bewehrung ergänzend möglich“ ist.

Die gewonnen Erkenntnisse werden in Abschnitt 4.2 diskutiert und ausgewertet.

## 4. Entwicklung eines Konzepts zur Beschreibung der Modellinhalte für den Schleusenbau

Nach einem kurzen Hinweis zur Methodik werden in Abschnitt 4.2 die Ergebnisse der Literaturrecherche diskutiert und mit Sicht auf die eigene Aufgabenstellung ausgewertet. Die Diskussion behandelt dabei fünf Themen, deren Inhalte durchaus in Verbindung stehen. Zuerst wird der Frage nachgegangen, ob und wie die Spezifikation des BIMForum (2018) für den Infrastrukturbereich geeignet ist und wie die Anwendung in den vorgestellten Konzepten erfolgt. Das BIMForum (2018) verwendet eine bauteilbezogene Definition, dessen Vor- und Nachteile anschließend mit den fachmodellbezogenen und bereichsmodellbezogenen Ansätzen in Abschnitt 4.2.2 verglichen werden. Die Diskussion über einen fachmodell-, bereichsmodell- oder elementbezogenen Ansatz, wird von den Überlegungen über eine Zuordnung der LOG zu den Leistungsphasen beeinflusst. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 4.2.3 eingegangen.

Abschnitt 4.2.4 behandelt die Attributzuweisung in einem digitalen Gebäudemodell und wie die Mindestanzahl an Attributen in Form von Attribut-Tabellen bestimmt werden kann. Der letzte Abschnitt der Diskussion setzt sich mit den unterschiedlichen Bedeutungen von Level of Development und Level of Geometry auseinander und gibt eine Empfehlung ab, zukünftige Missverständnisse zu vermeiden.

Nach einer kurzen Vorstellung der verwendeten Software werden die Erkenntnisse aus der Diskussion in Abschnitt 4.5 für die allgemeine Beschreibung der Level of Geometry angewandt. Zusätzlich wird der Aufbau der Attribut-Tabelle in Abschnitt 4.4 vorgestellt. Im letzten Teil dieses Kapitels erfolgt die bauteilbezogene Definition der geometrischen und semantischen Modellinhalte.

## 4.1. Methodik

Ein Teil des ausgearbeiteten Konzepts beruht auf den Erkenntnissen aus dem Vergleich verwandter Arbeiten. Parallel dazu findet die Bearbeitung des Anwendungsbeispiels statt, in dem die Schleuse Kiel-Holtenau in den Leistungsphasen 2 und 3 mit Blick auf ausgewählte Anwendungsfälle der Objektplanung modelliert wird. Zusätzlich finden Erfahrungen des zuständigen Projektleiters, der Modellautorin in der ersten BIM-Projektphase und einer BIM-Koordinatorin des Planungsbüros Eingang in das vorgestellte Konzept.

Das bedeutet, die in Abschnitt 4.2 dargelegten Erkenntnisse aus der Diskussion werden mit Praxiserfahrungen verknüpft, sodass in bestimmten Fällen auf die Auswertung des Praxisbeispiels vorgegriffen wird. Diese Stellen werden entsprechend gekennzeichnet.

## 4.2. Diskussion der Verwandten Arbeiten und daraus gewonnene Erkenntnisse

In der Literatur verwenden Autoren meist ihre eigenen Begrifflichkeiten und Akronyme für die Beschreibung des Modellinhalts (Beispiele aus dem Blogbeitrag von Bolpagni (2016): LOC, LOE, LOR, LODt, Information Levels, etc.). Eine Verwendung dieser „Originale“ unterstützt die anstehende Diskussion nicht, da sie von der eigentlichen Diskussion ablenken und mehr Verwirrung als Klarheit stiften. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend ausschließlich die in Abschnitt 2.3 eingeführten Begriffe des Level of Development (LOD), Level of Geometry (LOG) und Level of Information (LOI) verwendet. Zudem finden die Bezeichnungen des bauteilbezogenen, fachmodellbezogenen und bereichsmodellbezogenen Ansatz aus Abschnitt 3.1 Eingang.

Zur Unterstützung der Diskussion werden zusätzliche Arbeiten und Erkenntnisse von Autoren herangezogen, die nicht in den Abschnitten 2.5.1 bis 2.5.4 vertieft sind.

### 4.2.1. Der Umgang mit der BIMForum LOD-Spezifikation

Die Spezifikation des *BIMForum*s findet in der Fachwelt die häufigste Anwendung (Baldwin, 2018). Demgemäß dient die Struktur der LOD-Spezifikation als Basis für das eigene Konzept. Ein Überblick über die Inhalte der *BIMForum* LOD-Spezifikation ist in Abschnitt 2.3.1 gegeben.

Das für den Hochbau entwickelte Konzept lässt sich nicht ohne weiteres auf alle Fachmodelle anwenden. So gibt Goldenbaum (2017) an, dass ein LOD 200 für ein 3D-Geländemodell und ein 3D-Trassenmodell nicht geeignet ist. Den Grund sieht die Autorin in den exakten Vermes-



sungsdaten, die eine ungefähre Modellierung nicht unterstützen. Damit spricht Goldenbaum (2017) den Unterschied bei der Modellerstellung von verschiedenen Fachmodellen an, der auch von Kaden *et al.* (2017) erkannt wird.

Mini (2016) verzichtet in ihrem Konzept auf die Definition des LOG 100 für die Bauteile des Brückenbaus, aufgrund der zu allgemeinen Definition seitens des *BIMForums*. Die Veröffentlichungen von Papantonakis (2018) und dem Verband Beratender Ingenieure (2016) konzipieren ihr LOG 100 mit mehr geometrischen Details, um bereits in diesem Level erste Anwendungsfälle, die über eine konzeptionelle Visualisierung hinausgehen, bearbeiten zu können. Nach der Umsetzung des Praxisbeispiels und des Anwendungsfalls der Planungsvariantenuntersuchung wird diesem Vorgehen gefolgt, da Bauteile oder Bauteilgruppen mit einer geringen Anzahl an Details bereits zur Erfüllung der Planungsaufgabe hilfreich sein können. Insbesondere bei der Umgebungsmodellierung mit zu schützenden Bestandsbauwerken, bietet das LOG 100 eine schnelle und einfache Art einen zusätzlichen Mehrwert aus dem BIM-Modell zu generieren. Im Falle der Modellierung des Bestands im LOG 100 ist auf eine exakte Lage und Orientierung in Form eines Verlässlichkeitsattributs hinzuweisen. Für die entsprechende Diskussion wird an dieser Stelle auf Abschnitt 4.2.5 verwiesen.

Das Überspringen oder Auslassen eines der LOD der *BIMForum*-Referenzstruktur stellt eine Abwandlung der ursprünglichen Spezifikation dar. So verzichten Mini (2016) und Papantonakis (2018) in ihren LOD-Konzepten auf das LOD 350. Goldenbaum (2017) definiert das LOD 350, das ursprünglich die Schnittstelle zu anderen Gebäudesystemen beschreibt, für die Zwecke des Straßenbaus zur Schnittstelle zwischen Bauwerk und Ver- und Entsorgungsleitungen. Der Verband Beratender Ingenieure (2016) führt Abstufungen in 10er-Schritten ein, die der Anreicherung von semantischen Informationen dienen. Die LOD-Struktur von Mini (2016) enthält ein LOD 450, das für vorgefertigte Bauteile spezifische Informationen zur Herstellung, Installation und Montage enthält. Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) gibt die Option vor, für die Darstellung der Bewehrung ein LOG 450 zu ergänzen. Hingegen wird die Bewehrung in *BIMForum* (2018) erstmals im LOD 350 dargestellt.

Der obere Abschnitt verdeutlicht, dass mit mehrmaligen Veränderungen eine ähnlich große Verwirrung zu erwarten ist, wie die Einführung neuer Begriffe und Abkürzungen für die Beschreibung der Modellinhalte bereits bewirkt hat. Aus diesem Grund wird die Struktur des *BIMForums* unverändert für das eigene Konzept übernommen.

#### 4.2.2. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Ansätze

Nach einer kurzen Zusammenfassung bezüglich der unterschiedlichen Ansätze werden die Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Für die Begriffserklärung für den bauteilbezogenen, fachmodellbezogenen und bereichsmodellbezogenen Ansatz wird auf Abschnitt 3.1 verwiesen.

Mini (2016) verfolgt für den Brückenbau einen bauteilbezogenen Ansatz. Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) gestaltet seine Spezifikation für den Spezialtiefbau ebenfalls bauteilbezogen, integriert jedoch den Inhalt von einzelnen Bauteilen in die Beschreibung von Bauteilgruppen. Goldenbaum (2017) hingegen spricht sich für eine fachmodellbezogene Definition aus, da nach Meinung der Autorin der elementbezogene Ansatz des Hochbaus zu theoretisch und aufgrund von gewerkeabhängigen Modellierungsprozessen nicht auf den Straßenbau übertragbar ist. Die Autorin gibt an, dass Fachmodelle aus dem Straßenbau (Trassenmodell, Baugrundmodell, etc.) nicht gesondert erstellt werden können und sich somit ein einheitlicher Modellierungsgrad innerhalb einer Leistungsphase ergibt. Gleiches berichten Egger *et al.* (2013) in Zusammenhang mit einem fachmodellbezogenen Ansatz, wenn unterschiedliche Fertigstellungsgrade von Fachmodellen Konflikte bei der Koordination hervorrufen. Papantonakis (2018) reduziert die Anzahl dieser Konflikte indem er sein Bauwerksmodell in „Raum-Objekte“ und „physikalische-Objekte“ (ursprüngliche Bezeichnung nach Borrmann *et al.* (2015): „Space Objects“ und „Physical Objects“) unterteilt. Weiter definiert Papantonakis (2018) die LOG und LOI ebenfalls nicht für einzelne Bauteile sondern für einen Regelquerschnitt des Tunnels. Das Vorgehen erhält die Bezeichnung des bereichsmodellbezogenen Ansatzes, da der Autor das Konzept nur für einen ausgeschnittenen, räumlichen Bereich des Gesamtmodells auslegt, jedoch nicht nach Fachmodellen unterscheidet.

Entgegen der Aussage von Goldenbaum (2017) wird eine rein fachmodellbezogene oder bereichsmodellbezogene Beschreibung als zu generisch angesehen. Insbesondere in den LOG 300–400 bleibt die Frage, wie genau modelliert werden soll, unbeantwortet, da keine eindeutige Definition getroffen wird. Es geht dabei nicht um die allgemein angegebene „exakte Lage und Abmessung“, sondern vielmehr um den Detailreichtum der Elemente. In dem Konzept von Papantonakis (2018) wird im LOG 400 die Darstellung der Ausstattung des Tunnelquerschnitts gefordert. Es kann jedoch nicht beantwortet werden wie die Detaillierung der Ausstattung erfolgen soll. Die Struktur nach Mini (2016) vermag diese Frage zu beantworten. Das LOD-Konzept für Brückenbauwerke ist praktikabel anwendbar, da etwa im LOG 300 angegeben wird, dass ein bestimmtes Detail eines Bauteils (in diesem Fall die Voute eines Auflagers) ab diesem Level abgebildet wird.

Fachgebiete, die nicht standardisierte Bauteile oder Bauteile ohne Regelquerschnitt behandeln, erfordern eine gesonderte Betrachtung, da durch die Möglichkeit der individuellen Formgebung viele Variationen entstehen. Eine große Anzahl an geometrisch unähnlichen Varianten und die dazu parallel steigende Anzahl an geometrischen Beschreibungen, führt unweigerlich zu einem komplizierten und unübersichtlichen Konzept. Aus diesem Grund bietet sich in diesem Fall, ein bauteilübergreifendes – fachmodellbezogenes – Konzept an. Goldenbaum (2017) spricht diesen Sachverhalt sinngemäß an, indem sie erklärt, dass viele unikale Bauteile mit einer geringen Wiederholungsrate aber komplizierten Geometrien, eine bauteilbezogene Beschreibung ausschließen. Die Problembeschreibung wird auf die Objekte des Baubestandes übertragen. Im Falle des Bestands liegt die Lösung in der Verwendung der Definitionen des betrachteten

Bauteils. Beinhaltet die Bestandsmodellierung beispielsweise ein Massivbauelement, wird die Level of Geometry-Definition des Massivbaus umgesetzt.

Baldwin (2018) weist drauf hin, dass durch eine inflexible Struktur der Aspekt der Anwendbarkeit vernachlässigt wird. Insbesondere Modelle von Variantenuntersuchungen erfordern die Möglichkeit einer einfachen und schnellen Anpassung bei Planungsänderungen. Der Aufbau des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) schafft Abhilfe, indem er in frühen Leveln nicht das Bauteil, sondern die Bauteilgruppe definiert. Bei Planungsänderung müssen somit weniger Modellelemente angepasst werden. Ein entsprechendes Klassifikationssystem unterstützt die Zuteilung der Bauteile zu den Bauteilgruppen.

Der Prozess zu präzisen, bauteilbezogenen Konzepten ist in der Erstellung zeitaufwendig. Dennoch bleibt festzuhalten, dass eine exakte Kommunikation aus mehreren Gesichtspunkten anzustreben ist und auch von den meisten Diskussionsteilnehmern gefordert wird (vgl. Egger *et al.* (2013); Mini (2016); Papantonakis (2018); Goldenbaum (2017)). Aus vagen Formulierungen bilden sich Unschärfen, die sich zu einem späteren Zeitpunkt negativ auf das Ergebnis auswirken und gegebenenfalls ein Nachmodellieren erfordern. In den nächsten Jahren wird eine iterative Bestimmung der Anforderungen über den Projektverlauf unvermeidlich sein, da heutzutage eine vordefinierte Feststellung von relevanten Informationen aufgrund fehlender Erfahrungswerte nicht stattfinden kann.

Die Diskussion über einen fachmodell-, bereichsmodell- oder elementbezogenen Ansatz, wird von den Überlegungen über eine Zuordnung der LOG zu den Leistungsphasen beeinflusst. Auf diesen Aspekt wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

### 4.2.3. Die Zuordnung der LOG und Attribute zu den Leistungsphasen der HOAI

Der Verband Beratender Ingenieure (2016) sucht bewusst „die Nähe zu den Leistungsbildern der HOAI“. Papantonakis (2018) und Egger *et al.* (2013) ordnen die Level of Geometry und die Level of Information ebenfalls den Leistungsphasen zu. Dadurch entstehen stets die in Abschnitt 3.1 beschriebenen *LOD-###-Modelle*, die ein Modell mit vorgegebenen und einheitlichen Level of Development beschreiben und gegen die sich das BIMForum (2018) und die NATSPEC (2013) explizit aussprechen. Nach Drobnik & Riegas (2015) und den Modellierungsleitsätzen nach Hausknecht & Liebich (2016) sind pro Planungsphase nur die Informationen in ein BIM-Modell einzufügen, die für die Bewertung entwurflicher Fragen relevant sind. Mit der Erstellung von *LOD-###-Modellen*, kann dieser Leitsatz nicht erfüllt werden, da nicht kontrollierbar ist, welche Informationen ins Modell gelangen. Eine freie Zuordnung der LOG und Attribute zu den Leistungsphasen, wie in Mini (2016) und dem Positionspapier des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) vorgenommen,

ermöglicht die Erstellung des Modells gemäß der gewählten BIM-Ziele und den Anforderungen aus den Anwendungsfällen.

Goldenbaum (2017) untersucht die Kongruenz der Leistungsphasen zu den Level of Development. Die Autorin kommt zu dem Ergebnis, dass eine „nicht HOAI konforme“ Zuordnung die Modellierung im Straßenbau besser unterstützt. Allerdings ist die Erkenntnis der Autorin auf die Besonderheiten der Modellerstellung im Straßenbau zurückzuführen (keine ungefähre Modellierung aufgrund von exakten Vermessungsdaten).

In Goldenbaum (2017) sind die Leistungsphasen zudem den Level of Development zugewiesen und nicht die LOD den LPH. Dies führt zu einem starren Gefüge und einer Nichtübereinstimmung aus Planungsleistungen und Mindestanforderungen an den Modellinhalt. Goldenbaum (2017) erkennt daher in ihrer Arbeit eine Diskrepanz aus den Anforderungen an die Planungsleistung aus der Genehmigungsplanung (LPH 4) und den Vorgaben aus dem LOG und LOI 400. Diese Diskrepanz entsteht aus einer eins-zu-eins-Zuordnung der Leistungsphasen der HOAI zu den Level of Development und dem Auslassen des LOD 200 (vgl. Tabelle 4.1). Der Verband Beratender Ingenieure (2016) formuliert dazu den Grundsatz: „[...]“, dass das Leistungsbild der HOAI den Modellierungsgrad bestimmt und nicht umgekehrt.“

Papantonakis (2018) gibt an, dass eine frühe, zu strikte Formulierung der Anforderungen an die Modellinhalte eine Barriere für die Ausarbeitung im Projektverlauf darstellen kann. Seine Handlungsempfehlung ist einerseits die gesetzten BIM-Ziele klar zu definieren und andererseits die LOG- und LOI-Tabellen bei fortgeschrittener Planung iterativ zu entwickeln. Eine AIA sollte bezüglich der entsprechenden Festlegungen zum geforderten Modellinhalt eine hinreichende Beschreibung darstellen. Dies vermeidet, wie von Borrmann *et al.* (2015) erkannt, eine wiederholte, meist fehleranfällige Eingabe von Daten. (Die iterative Bestimmung des Modellinhalts wurde bereits in Abschnitt 4.2.2 angesprochen. Unter Einbeziehung der derzeitigen wenigen Erfahrungen im Bereich BIM, kann an dieser Stelle keine abschließende Empfehlung abgegeben werden.)

Tabelle 4.1 zeigt die Zuordnung der diskutierten Arbeiten für die Level of Geometry zu den Leistungsphasen. In der Tabelle ist zu sehen, dass nur in Leistungsphase 2 eine einheitlich Meinung über den geometrischen Detaillierungsgrad besteht. Die einzige Ausnahme bildet Mini (2016), die in ihrem Praxisbeispiel zur Modellierung des Modells ausschließlich das LOG 200 verwendet. Die Autorin gibt in ihrer Arbeit eine Empfehlung zu einer möglichen Zuordnung an, die ebenfalls in Tabelle 4.1 abgebildet ist.

Eine Gegenüberstellung, wie in Tabelle 4.1 vorgenommen, ist nur bedingt aussagekräftig, da verschiedene Baugewerke andere Gewichtungen der Leistungsphasen haben (Verband Beratender Ingenieure, 2013). Dadurch wird letztendlich auch die Informationstiefe des BIM-Modells beeinflusst. Es kommt hinzu, dass die Autoren unterschiedliche Ausprägungen

**Tabelle 4.1:** Übersicht der Zuordnung von den LOG zu den LPH der gesichteten Literatur

	Mini (2016) Empfehlung	Papantonakis (2018)	Goldenbaum (2017) (Vorzugsvariante)	Egger (2013)	VBI (2016)
LPH 1	LOG 100	LOG 0	/	/	/
LPH 2	LOG 200	LOG 100	LOG 100	LOG 100	LOG 100
LPH 3	LOG 300	LOG 200	LOG 300, 350	LOG 200	LOG 200
LPH 4	LOG 300	LOG 200	LOG 400	LOG 300	LOG 200
LPH 5	LOG 400, 450	LOG 300	LOG 500	LOG 400	LOG 300
LPH 8	/	LOG 400	/	LOG 400	LOG 400

der Level of Geometry definieren, sodass eine Vergleichbarkeit nur mit Einschränkungen gegeben ist.

Der geometrische Detaillierungsgrad kann mit den Maßstäben einer Zeichnung verglichen werden (Borrmann *et al.*, 2015; Egger *et al.*, 2013). Der Maßstab wird vom Planersteller so gewählt, dass die zu übermittelnden Informationen erkennbar dargestellt sind. Aus diesem Grund werden auch in der traditionellen Planungsmethode verschiedene Maßstäbe in einer Leistungsphase verwendet.

Unter Anbetracht der in Abschnitt 4.2.2 geführten Diskussion wird die eigene LOG-Struktur auf die Beschreibung von Bauteilen ausgelegt. Zudem kann ein Modell innerhalb einer Leistungsphase Elemente mit verschiedenen LOG enthalten. Damit soll die notwendige Flexibilität geschaffen werden, die die besonderen Anforderungen der verschiedenen Fachmodellen und denen eines unikalten Projektes berücksichtigt sowie anwendungsfallgerechtes Modellieren zulässt. Der geometrische und semantische Modellinhalt wird demnach durch die BIM-Anwendungsfälle bestimmt, die projektspezifisch in einer AIA festgehalten werden.

#### 4.2.4. Das Level of Information und Attribut-Tabellen

Nach Baldwin (2018) ist die Definition von Objekteigenschaften ein Bereich des Building Information Modeling, der im Allgemeinen vernachlässigt wird. Die Literaturrecherche in Kapitel 3 lässt ebenfalls erkennen, dass semantische Informationen in bisherigen Veröffentlichungen nicht ausführlich diskutiert werden, da nach Ansicht der Autoren die Projektspezifität die entscheidende Hürde darstellt (Hausknecht & Liebich, 2016). Ein BIM-Modell ist jedoch stark von den semantischen Eigenschaften abhängig (vgl. NATSPEC (2013), Borrmann *et al.* (2015), Tredal *et al.* (2016) und Drobnik & Riegas (2015)). Tredal *et al.* (2016) führen aus, dass eine einfache Beschreibung der Geometrie lediglich eine Weiterentwicklung der Computer Aided Design (CAD)-Methode darstellt und die Vorzüge des BIM vernachlässigt.

Wie die Bearbeitung des Projektbeispiels zeigt, sind die Bestimmung der relevanten Attribute und die spätere Einarbeitung in das BIM-Modell arbeitsintensive Aufgaben. Im Kontext dieser

Arbeit stellt sich somit die Frage, von welchen Faktoren die Attribute abhängig sind und wie die Mindestanzahl der benötigten Attribute bestimmt werden kann. Die Mindestanzahl der Attribute ist eine entscheidende Kennzahl zur Bestimmung des zu erwartenden Arbeitsumfangs des Modellerstellers. Zudem wird auf diese Weise vermieden Informationen zuveröffentlichten, die zum Zeitpunkt der Übermittlung noch unter Verschluss gehalten werden sollen.

In BIMForum (2018) werden die semantischen Eigenschaften eines Bauteils nicht spezifiziert, sondern mit der Anmerkung „nicht grafische Informationen können ebenfalls an das Modellelement angehängt werden“ an den geometrischen Ausarbeitungsgrad angehängt (Hausknecht & Liebich, 2016). Mini (2016) und Papantonakis (2018) bewerten die Trennung der LOG zu den Attributen als positiv. Die Autoren geben an, dass eine Entkopplung einen flexiblen Umgang mit den alphanumerischen Daten erlaubt und zudem eine freie Zuordnung der Attribute zu den Anwendungsfällen ermöglicht. Diese Ansicht teilt sich zunächst mit den Erkenntnissen, die für die Zuordnung der Level of Geometry zu den Leistungsphasen in Abschnitt 4.2.2 und Abschnitt 4.2.3 dargelegt sind.

Mini (2016) und Papantonakis (2018) halten weiter fest, dass eine Abstufung der semantischen Informationen analog zu den Level of Geometry nicht erfolgen kann. Als Grund geben die Autoren an, dass Attribute von den projektspezifischen und phasengerechten Anwendungsfällen abhängig sind und somit individuell ermittelt werden müssen. Van Treeck (2016) erreicht eine Strukturierung der LOI, indem er sie analog zum LOG in sechs Level gliedert und jedes der LOI generisch beschreibt. Die Erstellung einer generischen LOI-Struktur unterstützt die Ermittlung der Mindestanzahl der Attribute jedoch nicht. Durch eine allgemeine Formulierung besteht die Gefahr der Überladung des Modells mit nicht benötigten Informationen. Erneut kann der Leitsatz aus dem *BIM-Kompendium* von Hausknecht & Liebich (2016): „Wir modellieren nur so detailliert wie benötigt. Es wird nur die Aussage definiert, die zu der jeweiligen Projektphase relevant ist“ nicht eingehalten werden. Der angesprochene Sachverhalt lässt zudem erkennen das eine Bezeichnung als Level of Information irreführend ist und somit nicht verwendet werden sollte, außer es wird analog zu Van Treeck (2016) eine Abstufung gemäß der Level of Development durchgeführt.

Beispiele für Attribut-Tabellen finden sich in den Veröffentlichungen vom Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017), Mini (2016) und Papantonakis (2018). Die Attributbestimmung des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) erfolgt durch sogenannte *Datenaustauschszszenarien* wie in Tabelle 3.8 schematisch dargestellt. Mit diesem Ansatz kann die Mindestanzahl an Attributen nicht bestimmt werden, da Attribute teilweise nur für spezielle Anwendungsfälle notwendig sind. Ein Beispiel wird in der Materialspezifikation gesehen, die für die Kostenberechnung ein bedeutsames Attribut darstellt, für die Visualisierung jedoch irrelevant sein kann.

In Mini (2016) erfolgt die Attributbestimmung über die beauftragten Anwendungsfälle und das Level of Geometry. Wie das BIMForum (2018) und Baldwin (2018) erkennen, stehen

die Level of Geometry in keinem Zusammenhang zum semantischen Informationsgehalt eines Objekts. Aus diesem Grund verzichtet das *BIMForum* in der Version 2018 erstmals auf eine Bestimmung der Attribute in Form von „Attribut tables“, da Auswertungen ergaben, dass jedes Modellelement unabhängig von dessen Level of Geometry mit Attributen versehen werden kann.

Papantonakis (2018) nimmt in die Attribut-Tabelle den Aspekt der steigenden Komplexität der Anwendungsfälle parallel zur Planungstiefe auf. Wie BIM4INFRA2020 (2017b) ebenfalls feststellt, benötigen Anwendungsfälle in unterschiedlichen Leistungsphasen unterschiedliche Attribute. Exemplarisch kann der AwF 7 (Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen) genannt werden. Für die Ableitung von Genehmigungsplänen werden mitunter andere oder weniger Attribute benötigt als für die Erstellung von Entwurfsplänen. Ebenso verhält es sich mit dem AwF 10 (Kostenschätzung und Kostenberechnung). Daraus ergibt sich, dass für die Bestimmung der Mindestanzahl an Attributen eine Querbeziehung zwischen Anwendungsfällen und Leistungsphasen hergestellt werden muss.

Mit der Bearbeitung des Anwendungsbeispiels wird zudem festgestellt, dass die AwF auch innerhalb einer Leistungsphase verschieden starke Bearbeitungstiefen besitzen. Der AwF 3 (Visualisierung) kann die Erklärung einer Idee in einer Projektbesprechung unterstützen oder eine umfangreiche Animation im Zuge der Öffentlichkeitsarbeit darstellen, in der die Umwelt betreffende Fragen geklärt werden. Die Grundlage zur Bestimmung der Mindestanzahl an Attributen stellt aus diesem Grund eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle in der AIA dar, die über eine allgemeine Formulierung hinausgeht und zudem projektbezogen erfolgen muss. Auf dieser Basis gibt der Auftraggeber bekannt, welche Attribute für welche Bauteile und für welchen Anwendungsfall gefordert sind. Damit kann die zugehörige Bearbeitungstiefe vom Auftragnehmer abgeschätzt werden. Der Auftragnehmer ist angehalten fehlende Attribute sinnvoll zu ergänzen, so dass eine Bearbeitung des Anwendungsfalls möglich ist. Durch dieses Vorgehen wird die minimal notwendige Anzahl an Attributen im Modell hinterlegt.

In Tabelle 4.3 wird die entwickelte Attribut-Tabelle vorgestellt. Die Attribut-Tabellen werden nach Bauteilen ausgewählt und stellen eine Querbeziehung zwischen Anwendungsfällen und Leistungsphasen her.

#### 4.2.5. Die Abgrenzung der Level of Geometry zu den Level of Development

Die Literaturrecherche offenbart nicht nur eine große Differenz zwischen den einzelnen Ansätzen, sondern lässt auch die Notwendigkeit einer eindeutigen Stellungnahme zu der Abgrenzung der Level of Development zu den Level of Geometry hervortreten.

Die Autoren Mini (2016), Goldenbaum (2017) und Papantonakis (2018) definieren das Level of Development einheitlich als die Summe von Level of Geometry und Level of Information

( $LOD = LOG + LOI$ ). Es sind jedoch Unterschiede in der Interpretationsweise erkennbar, die in der nachfolgenden Auflistung und den darauffolgenden Abschnitten aufgeführt werden:

1. Mini (2016) beschreibt das Level of Geometry als rein geometrische Information und gibt weiter an: „Im Gegensatz beschreibt der Level of Development, wie durchdacht die Verknüpfung der geometrischen Darstellung und dem Modell hinzugefügten semantischen Informationen ist.“ Dadurch wird von der Autorin eine Abgrenzung zwischen Level of Development und Level of Geometry erreicht.
2. Goldenbaum (2017) bewirkt diese Begriffsabgrenzung, wenn auch implizit, durch die Einführung des Begriffs *Level of Enrichment*, der als Hyperonym von LOI und LOG fungiert. Die Definition des Level of Development bleibt somit bestehen und der Aspekt der Verlässlichkeit von Modellinhalten erhalten.
3. In Papantonakis (2018) wird diese Begriffsabgrenzung nicht explizit vorgenommen, so dass der Begriff des Level of Development als Hyperonym für das Level of Geometry und das Level of Information steht. Dadurch hat das Level of Development im Vergleich zu der Definition von Mini (2016) und Goldenbaum (2017) keine eigene Stellung und enthält keine eigenen Informationen, die in den jeweiligen LOG oder im LOI nicht auch enthalten sind.

Der in Drittens angesprochene Sachverhalt wird deutlich, wenn man beachtet, dass das LOI von den drei Autoren als nicht zu quantifizierende Größe beschrieben ist und in deren Veröffentlichungen somit nur ein Level of Information existiert. Danach suggeriert die oben genannte Formel in Papantonakis (2018), dass ein Level of Geometry 100 dem Level of Development 100 entspricht. Der Aspekt der Verlässlichkeit der Informationen geht dadurch für das Level of Development verloren, was der ursprünglichen Intention von *Vico Software* für die Level of Detail widerspricht (Bedrick, 2008). Die unterschiedliche Auffassung des Begriffs Level of Development von Papantonakis (2018) wird durch die Verwendung des Begriffs „Platzhalterkörper“ in der Definition seines LOD 400 deutlich. Mit Blick auf eine rein geometrische Beschreibung kann der Begriff verwendet werden, mit Blick auf die Verlässlichkeit jedoch nicht.

Mit der Definition des Level of Development nach Hausknecht & Liebich (2016) als Summe aus Level of Geometry und Level of Information (oder:  $LOD = LOG + LOI$ ) muss zwingend beachtet werden, dass damit eine unbeabsichtigte Neudefinition des Begriffs einher geht, denn das Level of Development ist mehr als nur die Summe seiner Teile. Das BIMForum (2018) beschreibt das Level of Geometry als Input und somit als Grundlage des geometrischen Modellinhalts. Die angesprochene Formel darf aus diesem Grund nicht ohne entsprechenden Hinweis verwendet werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass ein LOD 200 als  $LOG 200 + LOI 200$ , oder ein  $LOG 300 + LOI 200$  als LOD 250 gewertet wird. Das darf jedoch nicht der Fall sein, wie das 'Fenster-Beispiel' in Abschnitt 2.3.2 verdeutlicht.



Es besteht die Gefahr einer missverständlichen Informationsweitergabe. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit bewusst auf diese Formel verzichtet, da die Ähnlichkeit der Konzepte und Akronyme eine klare Abgrenzung erfordern und die Formulierung als Summe zu einer Vermischung der Bedeutung führt. Dadurch wird die Unterscheidung in Abschnitt 2.3.2 zwischen dem Level of Development und dem Level of Detail – respektive Level of Geometry – zu einem elementaren Bestandteil der theoretischen Grundlagen.

Der Vergleich der drei Masterarbeiten Mini (2016); Goldenbaum (2017) und Papantonakis (2018) zeigt, dass eine Verwechslung oder Missinterpretation nur schwer zu vermeiden ist, solange beide Bezeichnungen (Level of Geometry und Level of Development) existieren. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit auf den Begriff des Level of Development verzichtet. Der Aspekt der Verlässlichkeit wird in Form eines entsprechenden Attributs berücksichtigt. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass Bauteile im Modell nach diesem Attribut gefiltert werden können und somit für den Nutzer eindeutig erkennbar ist, welche Bauteile sich noch in der Bearbeitung befinden. Hierbei sind weitere Formulierungen wie ‚neu‘, ‚in Bearbeitung‘, ‚bearbeitet‘, ‚zu prüfen‘ und ‚geprüft‘ denkbar, die die Anwender bei der Kommunikation im Rahmen eines Modellaustauschs unterstützen. Ein entscheidender Punkt wird sein, wie die Verlässlichkeitsattribute von Auswertungssoftware wie zum Beispiel einem Modelchecker erkannt werden, da ansonsten Fehlermeldungen bei Kollisionsprüfungen unvermeidlich sind.

Der Begriff des Level of Information wird in dieser Arbeit ebenfalls nicht weiter verwendet und die semantischen Elementeigenschaften stattdessen als Attribute bezeichnet, da die Bezeichnung „Level“ mehr als ein Level suggeriert und somit zu einer falschen Erwartungshaltung des Nutzers führt.

Das vorgestellte Konzept zur Beschreibung der Modellinhalte in dieser Arbeit verwendet demzufolge das Level of Geometry für die Beschreibung des geometrischen Inhalts, Attribut-Tabellen die eine Querverbindung zwischen Anwendungsfällen und den Leistungsphasen herstellt und ein Verlässlichkeitsattribut, mit dem beschrieben wird, wie verlässlich die Informationen des Modellelements sind.

In Tabelle 4.2 wird die zurückliegende Diskussion grafisch aufbereitet. Die Veröffentlichung von Egger *et al.* (2013) wird nicht in die Tabelle aufgenommen, da es sich um kein Konzept im eigentlichen Sinne handelt. Das *LoG-I-C-L-Modell* nach Van Treeck (2016) wird ebenfalls nicht aufgeführt, da sich das Modell auf die Technische Gebäudeausrüstung bezieht.

Tabelle 4.2: Grafische Aufbereitung der unterschiedlichen Konzepte aus der Literatursichtung

Veröffentlichung	Veränderung gegenüber der <i>BIMForum</i> Referenzstruktur	Konzept definiert für:	Zuordnung LOD zu LPH	Attributbestimmung	Definition des LOD
Mini (2016)	LOG 100 erfordert kein BIM-Modell; kein LOG 350; zusätzliches LOG 450 für Fertigbauteile	Bauteile des Brückenbaus	nein, aber Empfehlung (siehe Tabelle 4.1)	bauteilbezogen über LOG und AwF	LOD = LOG + LOI; LOD ist „wie überlegt Verknüpfung zwischen [LOG] und [LOI] ist“
Goldenbaum (2017)	kein LOD 200	Fachmodelle des Straßenbaus	ja (siehe Tabelle 4.1)	nicht vorgenommen	LOE = LOG + LOI; LOD bleibt bestehen
Papantonakis (2018)	kein LOD 350	Bereichsmodell für Querschnitt Tunnelbauwerk	ja (siehe Tabelle 4.1)	bereichsmodellbezogen über LPH, AwF und LOG	LOD = LOG + LOI; keine Abgrenzung
VBI (2016)	kein LOD 350 ; zusätzliche Abstufungen in 10er-Schritten	Bereichsmodell Hochbau	ja (siehe Tabelle 4.1)	nach LPH	LOD ist "Modelldetaillierungsgrad" und setzt sich zusammen aus LOG und LOI
Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017)	kein LOG 350; zusätzliches LOG 450 für Bewehrung	Bauteile des Spezialtiefbaus; Bauteile werden im LOG 100-200 zu Bauteilgruppen zusammengefasst	nein	über sogenannte Austauschvarianten	LOD ist „Entwicklungsgrad“ der LOG und LOI
Eigenes Konzept	keine Veränderungen	Bauteile des Schleusenbaus; Bauteile werden im LOG 100-200 zu Bauteilgruppen zusammengefasst	nein	bauteilbezogen über AwF und LPH	LOG beschreibt die Stufen der Geometrie; LOD wird durch Verlässlichkeitsattribut ersetzt.

## 4.3. Verwendete Software

Jede BIM-Software hat im Vergleich mit anderen Programmen Vor- und Nachteile in der Anwendung und der Modellierung. Es ist davon auszugehen, dass die Arbeitsweise der jeweiligen Software die Entwicklung des eigenen Konzepts beeinflusst. Dieser Aspekt wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht untersucht, da nur die Software *Autodesk Revit 2017* verwendet wird und somit die Möglichkeit eines Vergleichs nicht gegeben ist. Es folgt eine kurze Vorstellung der Arbeitsweise der verwendeten Software *Autodesk Revit 2017* (in der Folge *Revit*).

*Revit* ist eine BIM-fähige Software, die eine 2D- und eine 3D-Modellierung unterstützt und bauteilorientiert arbeitet. Die Software ermöglicht eine parametrische Modellierung, mit der Bauteile mit Abhängigkeiten und Zwangsbedingungen versehen werden können, um so ein flexibles Modell zu erstellen (Borrmann *et al.*, 2015). Die Parameter in *Revit* umfassen in der Version 2017 nicht nur geometrische Abmessungen, sondern beispielsweise auch Lasten sowie Baustoff- und Sichtbarkeitsparameter. Sichtbarkeitsparametern steuern die Sichtbarkeit einzelner Elemente oder Teile einer Familie.

Parameter finden häufig bei der Erstellung von neuen Bauteilfamilien Anwendung. Familien werden in *Revit* jegliche Bauteile (z. B. Wände) genannt, die man extern von einer Definition, die in einer Bauteilbibliothek abgelegt ist, ins Projekt laden kann. Durch die externe Definition wird dem Anwender ermöglicht diese Familie im Familieneditor individuell anzupassen. Analog zum Projekt besitzt auch der Familieneditor Grundrisse, Ansichten und Bauteile als 3D-Körper. Im Familieneditor werden zudem die Parameter definiert, die später im Projekt bestimmt werden. Zusätzlich gibt es sogenannte Projektfamilien, die nur innerhalb eines Projektes definiert sind und dort zur Verfügung stehen.

Das familienbasierte Arbeiten ist ein Vorteil der *Revit*-Software, denn sie kommt ohne Programmierung und Zusatzmodule aus (Nöldgen, 2016). Der Nutzer kann individuelle Bauteile nach seinen Bedürfnissen gestalten und diese mit Parametern versehen, den Einfügepunkt definieren oder Abhängigkeiten erstellen.

Nachdem eine Familie einmal erstellt wurde, kann diese in mehreren Projekten verwendet werden. Die Wiederverwendbarkeit vordefinierter Familien bei gleichzeitiger Adaptivität erleichtert die Erstellung eines neuen digitalen Bauwerksmodells erheblich (Nöldgen, 2016). Zudem besteht die Möglichkeit die eignes erstellten Familien mit anderen Nutzern zu teilen.

Für die Entwicklung des eigenen Konzepts werden die Bauteile in ihren verschiedene Level of Geometry als *Revit*-Familien erstellt. In der Beschreibung der Geometrie in Abschnitt 4.6 finden sich *revit*bezogene Fachbegriffe wieder, die nachfolgend erklärt werden.

### 4.3.1. Familienvorlagen

Der *Revit*-Nutzer kann bei der Erstellung eigener Familien zwischen verschiedenen Vorlagen wählen. Die Familienvorlagen besitzen unterschiedliche Eigenschaften, die es gilt richtig einzusetzen, um so das gewünschte Modellierungsziel zu erreichen. Die Erstellung der Bauteilfamilien für die vorliegende Arbeit erfolgte mithilfe der „nicht basisbauteilabhängigen 3D-Familien“. Als Basisbauteile werden Grundelemente der Gebäudemodellierung wie Wände und Decken bezeichnet. Eine weitere Unterteilung stellt beispielsweise die „basisbauteilabhängigen 3D-Familie“ dar, die es erlaubt, eigene Familien an den angesprochenen Basisbauteilen auszurichten. Damit eine basisbauteilabhängige Familie platziert werden kann, muss der entsprechende Basisbauteiltyp im Projekt vorhanden sein (Autodesk, 2017). Es folgt eine kurze Vorstellung der „nicht basisbauteilabhängigen 3D-Familien“.

#### Familien basierend auf zwei Ebenen (Stütze)

Für Bauteile, die an einer Basisebene und einer oberen Ebene gekoppelt sind, eignen sich ebenenbasierte Vorlagen. Die Länge einer Stütze wird dann über die Angabe der Ober- und Unterkante gesteuert und die Länge entspricht in diesem Fall einer Auswertungsinformation. Spezielle Stützenfamilien können auch an Rastern ausgerichtet und entlang der Rasterschnittpunkte erstellt werden (Autodesk, 2017).

#### Linienbasierte Familien

Linienbasierte Familien beschreiben Bauteile, die mit zwei Auswahlritten platziert werden. So wird beispielsweise für die Erstellung einer Wand ein Start- und ein Endpunkt angegeben. Vordefinierte adaptive Familien, die sich an unterschiedliche Umgebungsbedingungen anpassen, können in eine linienbasierte Vorlagendatei integriert werden. Damit kann die Wiederholung von Volumenkörpern entlang eines Pfades erfolgen (Autodesk, 2017).

#### Eigenständige Familien

Eigenständige Familien basieren auf unabhängigen Vorlagen und können überall im Projekt alleinstehend platziert werden (Autodesk, 2017).

Vor der Erstellung einer Bauteilfamilien stellt sich der Modellautor die Frage, ob das Bauteil an Rastern oder Ebenen ausgerichtet, oder selbstständig im Modell platziert wird. Zudem finden Vorüberlegungen statt, die Attribut- und Parameterwahl im späteren Projekt betreffen.

## 4.4. Ermittlung der benötigten semantischen Informationen mit Attribut-Tabellen

Die Bestimmung der Attribute erfolgt mithilfe von bauteilbezogenen und anwendungsfallorientierten Attribut-Tabellen, die in Querverbindung zu den HOAI Leistungsphasen der Objektplanung stehen. Die LPH 8 und 9 werden nicht betrachtet, da in diesen Phasen die Modellerstellung der Planung bereits abgeschlossen ist. In der LPH 8 wird das Modell der Planung in das *as-built*-Modell überführt (Verband Beratender Ingenieure, 2016). Für die LPH 9 (Objektbetreuung und Dokumentation) sind herstellerepezifische Attribute erforderlich (Van Treeck, 2016).

Tabelle 4.3 stellt das Schema der entwickelten Attribut-Tabellen vor. Die Festlegung der Attribute erfolgt über die Anwendungsfälle in der jeweiligen Leistungsphase. So fordert in Tabelle 4.3 der AwF  $X_2$  in der LPH 2 die Attribute 1 und 3 und in der LPH 3 die Attribute 1, 3 und 4. Das bedeutet, die Attribute werden aus den vorangegangenen Leistungsphasen übernommen. Dadurch wird eine durchgängige Nutzung der Attribute erreicht und einmal eingetragene Attribute bleiben dem Modell erhalten. Zusätzlich ergibt sich der Vorteil einer schnellen und eindeutigen Informationsübermittlung, da alle benötigten Attribute eines Anwendungsfalls in der entsprechenden LPH auf einen Blick abrufbar sind.

Die folgende Tabelle 4.3 stellt eine mögliche Zuordnung der Anwendungsfälle zu den Leistungsphasen dar, die nach den Empfehlungen von BIM4INFRA2020 (2017b) erfolgt ist. Es handelt sich nicht um eine Vorgabe. Somit können die Anwendungsfälle in Abhängigkeit der jeweiligen Projektanforderungen in unterschiedlichen Leistungsphasen bearbeitet werden.

**Tabelle 4.3:** Attribuierung eines beliebigen Bauteils nach den Anwendungsfällen und den Leistungsphasen der Planung

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF $X_1$	Attribut 1 Attribut 2 –	Attribut 1 Attribut 2 Attribut 3	...			
AwF $X_2$	Attribut 1 Attribut 3	Attribut 1 Attribut 3 Attribut 4				
AwF $X_2$	⋮					
	⋮					

In Abschnitt 2.2.6 wird der *Objektkatalog* als Klassifikationssystem des WSV vorgestellt. Aus den Vorgaben des WSV ergeben sich Attribute, die dem Klassifizieren von Bauteilen dienen und unter der Bezeichnung „Klassifikation“ in den Attribut-Tabellen zusammengefasst werden. Zu den Vorgaben gehören folgende Angaben:

- Organisationseinheit
- Nummer der Bundeswasserstraße
- Objektidentifizierungsnummer
- Objektbenennung
- Objektteil
- Einzelheit
- DVtU-Identifikation

Die Klassifizierung ist als übergeordnetes Attribut zu sehen und kann beispielsweise weitere Angaben zur DIN (z. B. DIN 276 oder DIN 19703 für Schleusenausrüstung) enthalten. Die Attribute der Klassifizierung sind stets projektspezifisch zu bestimmen.

Der AwF 1 (Bestandserfassung) wird nicht in der Attribut-Tabelle abgebildet, da er stets in Verbindung zu anderen Anwendungsfällen steht und über diese Verknüpfung die erforderlichen Attribute für das Bestandsmodell bestimmt werden. Es gilt die Frage zu beantworten, zu welchem Zweck das Bestandsmodell genutzt werden soll. Dient zum Beispiel die Bestandserfassung einer Visualisierung sind andere oder weniger Attribute notwendig, als wenn das Bestandsmodell in direkter Verbindung mit der Terminplanung der Ausführung steht. Um den Anwendungsfall der Bestandserfassung hinsichtlich der Attribute zu erfassen, werden die Attribute des Bestands bauteilbezogen bestimmt. Entsprechende Beispiele sind in Tabelle B.6 und im Rahmen des Anwendungsbeispiels in Tabelle 5.1 aufgeführt. Daraus folgt, dass die Attributbestimmung in der LPH 1 entfällt oder außerhalb der Attribut-Tabellen erfolgen muss.

Innerhalb des AwF 5 (Koordination der Fachgewerke) sind verschiedene Erfüllungsmethoden enthalten. So in etwa die Prüfung der Wertebereich der geforderten Attribute. Aus diesem Grund müssten in der Theorie alle Attribute aufgeführt werden, die in der betrachteten Leistungsphase gefordert werden. Aus Gründen der Vereinfachung erfolgt in der vorliegenden Arbeit an dieser Stelle lediglich der entsprechende Hinweis.

Einzelne Bauteile oder Bauteilgruppen (z. B. Spundwand) erfordern für eine Kostenschätzung oder Kostenberechnung bestimmte geometrische Auswertungsinformationen, die von der gewählten Abrechnungsbasis abhängig sind. So können in etwa die Kosten einer Spundwand basierend auf den Stückzahlen, den laufenden Metern oder der Wandfläche abgerechnet werden.

Verallgemeinert wird dieser Aspekt mit dem Attribut „Mengeneinheit“ aufgegriffen. Weitere geometrische Informationen, die für die Erfüllung bestimmter Anwendungsfälle notwendig sind werden ebenfalls in die Attribut-Tabellen aufgenommen. In vielen Fällen ist dies auch abhängig vom gewählten LOG. Dazu gehören in diesem Sinne:

- Ober- / Unterkante
- Durchmesser
- Mengeneinheit
- Litzen- / Stabanzahl
- Ankerlänge / -winkel
- Verpresskörperlänge
- Oberflächengefälle
- Bauteilgeometrie

Oftmals liegt die Wahl, ob eine Information in Form eines Attributs an das Modellelement angehängt oder modelliert wird, beim Modellersteller beziehungsweise an den Vorgaben aus der AIA. Darunter fallen unter anderem die Anzahl der Litzen und Stäbe der Anker sowie der Korrosionsschutz. Zudem ist anzumerken, dass Angaben zu Kosten oder statischen Ergebnissen wie Auflagerkräfte nicht als Attribute aufgeführt werden, da sie ein phasenabhängiges Ergebnis darstellen und somit häufigen Anpassungen unterliegen. Eine wiederholte Anpassung von Daten durch den Nutzer ist jedoch fehleranfällig (Borrmann *et al.*, 2015).

Das Attribut „Verknüpfung“ bezieht sich auf die Verknüpfung zum Terminplan und beinhaltet beispielsweise den vorangegangenen Vorgang, den nachfolgenden Vorgang, den Puffer und die Vorgangsnummer innerhalb eines Balkenplans.

In der Attributbestimmung des Anwendungsfalls der Ableitung von Ausführungspläne werden keine Rammpläne, Schalpläne, etc. beachtet, da die vorliegende Arbeit den Schwerpunkt auf die Objektplanung legt.

Für die Codes der Anwendungsfälle mit entsprechender Kurzbeschreibung wird auf Tabelle 2.2 verwiesen. Ausführliche Beschreibungen zu den einzelnen Anwendungsfällen sind im Anhang in Anhang A abgebildet. In Abschnitt 4.6 sind bauteilbezogene Attribut-Tabellen abgebildet und in Abschnitt 5.2 werden die Attribut-Tabellen auf das Praxisbeispiel angewendet.

## 4.5. Struktureller Aufbau der Level of Geometry

Die Erkenntnisse aus der Diskussion um den Aufbau einer LOG-Struktur in Abschnitt 4.2.2 ergeben die Notwendigkeit eines bauteilbezogenen Ansatzes. Aus diesem Grund kann keine allgemein geltende Beschreibung der Level of Geometry erfolgen. Vielmehr erfordert jedes Bauteil eine individuelle Betrachtung. Ausnahmen bilden die Fachmodelle des Massivbaus und der Bestandserfassung, die fachmodellbezogen beschrieben werden.

In diesem Abschnitt wird die entwickelte LOG-Struktur für die Bauteile des Schleusenbaus hinsichtlich Detaillierung, Parametrisierung und Konnektoren vorgestellt. Der Aufbau der Level of Geometry erfolgt konsistent, sodass die Parametrisierung und die Konnektoren in das nächst höhere Level übernommen werden. Die LOG-Struktur erfolgt nach den Empfehlungen aus BIMForum (2018).

Die bauteilbezogene Definition des LOG erfolgt in Abschnitt 4.6. In Kapitel 5 wird das vorgestellte Konzept angewendet und unter Berücksichtigung der jeweiligen Leistungsphasen und der Anwendungsfälle nach BIM4INFRA2020 (2017b) ausgewertet.

### 4.5.1. LOG 100

Durch die Verwendung von Elementen und Objektgruppen im LOG 100 erfolgt die Identifizierung der Randbedingungen sowie der am Projekt beteiligten und von der Baumaßnahme betroffenen Parteien. Die Repräsentation unterstützt das allgemeine Verständnis der Planungsaufgabe.

**Darstellung und Detaillierung** Das Objekt wird als allgemeine Baukörpergeometrie dargestellt, sodass die Zugehörigkeit zu Baugruppen und Systemen nicht zwingend erkennbar ist. Aufgrund der geringen Detaillierungsstufe dient das LOG 100 als Platzhalter. Sofern möglich, werden Elemente und Bauteile zu Bauteilgruppen zusammengefasst. Ausnahmen beziehen sich auf alleinstehende Bauteile. Die Modellierung reicht bis zur Oberfläche des Objekts; innenliegende Strukturen werden nicht modelliert.

**Parametrisierung** Die Parametrisierung betrifft die äußeren Abmessungen in horizontaler und vertikaler Richtung, um die Größenverhältnisse im Modell wiederzugeben.

**Konnektoren** Konnektoren sind im LOG 100 nicht darzustellen.

### 4.5.2. LOG 200

Die Darstellung aus dem LOG 100 wird konkretisiert, sodass im LOG 200 Fachbereiche und Gewerke identifiziert werden können und eine frühzeitige Koordination möglich.



**Darstellung und Detaillierung** Es werden bauteilspezifische Details ergänzt, sodass in diesem Stadium eine Identifizierung des Bauteil oder der Bauteilgruppe möglich ist. Im LOG 200 werden Elemente und Baueile, sofern möglich, weiter als Bauteilgruppen zusammengefasst. Im LOG 200 werden innenliegende Strukturen mit allgemeinen Geometrien modelliert.

**Parametrisierung** Die Parametrisierung betrifft die äußeren Abmessungen in horizontaler und vertikaler Richtung, um die Größenverhältnisse im Modell wiederzugeben.

**Konnektoren** Konnektoren sind im LOG 200 nicht darzustellen.

#### 4.5.3. LOG 300

Das LOG 300 ermöglicht eine Objektdifferenzierung nach technisch trennbaren Bauteilen und ermöglicht eine detaillierte Mengenermittlung der einzelnen Bauteile.

**Darstellung und Detaillierung** Ab dem LOG 300 wird die in LOG 200 definierte Bauteilgruppe in einzelne Bauteile aufgelöst, die mit ihren spezifischen Werten modelliert werden.

**Parametrisierung** Die Parametrisierung steuert die spezifischen Abmessungen der Bauteile.

**Konnektoren** Die Modellierung von Konnektoren erfolgt im LOG 350.

#### 4.5.4. LOG 350

Durch die zusätzliche Modellierung der Konnektoren können Schnittstellen zu anderen Systemen hergestellt und überprüft werden.

**Darstellung und Detaillierung** Im LOG 350 werden der Darstellung des LOG 300 bauteilspezifische Konnektoren hinzugefügt. In diesem Stadium ist keine detailgetreue Darstellung der Konnektoren erforderlich.

**Parametrisierung** Sofern bestimmte Konnektoren eine Parametrisierung erfordern, wird diese vorgenommen.

**Konnektoren** Dem Element oder Bauteil aus dem LOG 300 werden Konnektoren und Schnittstellen zu anderen System hinzugefügt.

#### 4.5.5. LOG 400

Mit dem LOG 400 ist es möglich das Modellelement hinsichtlich seiner Baubarkeit zu überprüfen und Detailzeichnungen aus des Modellelements abzuleiten.

**Detailierung** Dem Modellelement sind Hersteller-, Bau-, Zubehör- und Ausführungsdetails hinzuzufügen. Die Konnektoren aus dem LOG 350 werden nun detailgetreu abgebildet.

**Parametrisierung** Eine Parametrisierung kann in dieser Detailstufe nicht allgemein beschrieben werden.

**Konnektoren** Es werden die Konnektoren aus dem LOG 350 übernommen und detailgetreu dargestellt.

## 4.6. Bauteilbezogene Definition der geometrischen und semantischen Modellinhalte

In diesem Kapitel werden die Level of Geometry und Attribut-Tabellen für ausgewählte Bauteilen des Schleusenbaus vorgestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass das in Abschnitt 4.2.4 vorgestellte Verlässlichkeitsattribut nicht in den Attribut-Tabellen aufgenommen ist, da es sich nicht nach Leistungsphasen oder Anwendungsfällen richtet, sondern aus der Erforderlichkeit entsteht, den Verlässlichkeitsgrad des Modellelementes mitzuteilen.

### 4.6.1. Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Bohrpfählen

Es wird im Rahmen dieser Arbeit von einer überschritten Bohrpfahlwand ausgegangen. Die Darstellungsform anderer Ausführungsformen wie zum Beispiel einer aufgelösten Bohrpfahlwand oder die Darstellung eines Einzelpfahls kann entsprechend abgeleitet werden. Die Familie der Bohrpfahlwand wurde als Familie basierend auf zwei Ebenen erstellt.

**Tabelle 4.4:** Level of Geometry einer Bohrpfahlwand

LOG 100 Darstellung als wandartiger Volumenkörper

Parametrisierung:

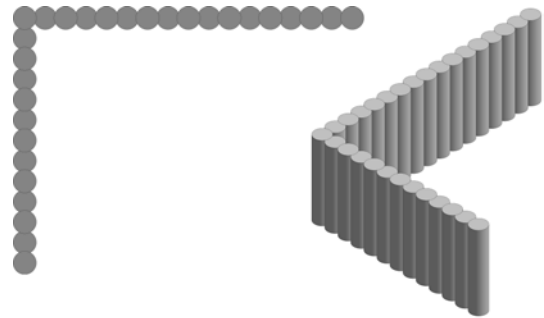
- Höhe und Länge der Wand



**Tabelle 4.4:** Level of Geometry einer Bohrpfahlwand

LOG 200 Darstellung als Gruppe von Bohrpfählen mit identischen Abmessungen.

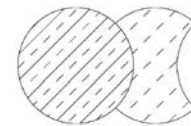
Parametrisierung wie LOG 100



LOG 300 Darstellung der Einzelpfähle mit individuellen Abmessungen.

zusätzliche Parametrisierung:

- Ober- / Unterkante
- Neigung und Neigungsrichtung
- Durchmesser
- Überschnitt



*Hinweis: Die Abbildung wurde gewählt um zwei Bohrpfähle und deren Überschnitt darzustellen. Die Schraffur im Grundriss zeigt einen bewehrten und einen unbewehrten Pfahl. Die Darstellung erfolgt nur, wenn die Bohrpfähle entsprechend attribuiert werden.*

**Tabelle 4.4:** Level of Geometry einer Bohrfahlwand

LOG 350 Darstellung wie LOG 300. Zusätzliche Darstellung der Bewehrung.

Weitere Parametrisierung der Bewehrung.

*Hinweis: Die Darstellung der Bewehrung wird in dieser Arbeit nicht vorgenommen.*



LOG 400 Darstellung wie LOG 350. Zusätzliche Darstellung einer Fußaufweitung als Kegelstumpf, falls erforderlich.

zusätzliche Parametrisierung:

- Höhe und Durchmesser der Fußaufweitung



Tabelle 4.5: Attribuierung von Bohrpfählen bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	- -	Material -	Material Primär-/Sekundärpfahl	Material Primär-/Sekundärpfahl	- -	- -
AwF 5	Klassifikation -	Klassifikation Material <sup>1</sup> -	- -	Klassifikation Material <sup>1</sup> -	- -	- -
AwF 7	Klassifikation - - -	Klassifikation Material Ober-/Unterkannte Durchmesser Primär-/Sekundärpfahl	Klassifikation Material Ober-/Unterkannte Durchmesser Primär-/Sekundärpfahl	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengeninheit	Klassifikation Material <sup>1</sup> Mengeninheit Bewehrungsgehalt Durchmesser	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
AwF 11	- - - - - - -	- - - - - -	- - - - -	- - - -	Klassifikation Material <sup>1</sup> Materialspezifikation <sup>1</sup> Primär-/Sekundärpfahl Bewehrungsangaben <sup>2</sup> Mengeninheit Durchmesser Ober-/Unterkannte	Klassifikation Material <sup>1</sup> Materialspezifikation <sup>1</sup> Primär-/Sekundärpfahl Bewehrungsangaben <sup>2</sup> Mengeninheit Durchmesser Ober-/Unterkannte
AwF 12	- - - -	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	- - -	- - -
AwF 14	- - - - -	- - - -	- - -	Klassifikation Material Primär-/Sekundärpfahl Durchmesser Ober-/Unterkannte	- - -	- - -

<sup>1</sup>Getrennte Angaben für Beton und Bewehrung<sup>2</sup>Bewehrungsgehalt, Bewehrungstyp und Mindestbewehrung

### 4.6.2. Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Spundwänden

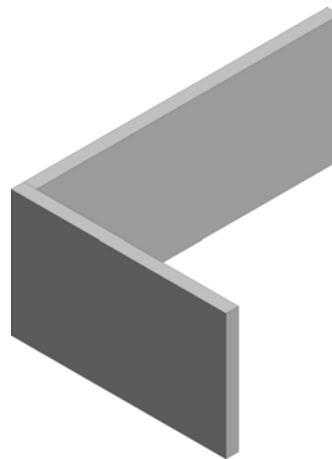
Handelt es sich um eine kombinierte Spundwand, so wird ab dem LOG 300 zwischen Tragbohlen und Füllbohlen unterschieden. Mit der Modellierung als *Revit*-Familie basierend auf zwei Ebenen, kann die Länge über ein Ebenenpaar (Eingabe von Ober- und Unterkante) gesteuert werden.

**Tabelle 4.6:** LOG Spundwand

LOG 100 Darstellung als wandartiger Volumenkörper.

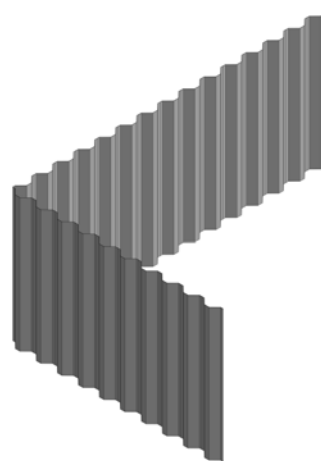
Parametrisierung:

- Höhe und Länge der Wand



LOG 200 Darstellung als Gruppe von Spundwandbohlen mit undefiniertem Profil und identischen Abmessungen.

Zusätzliche Parametrisierung wie LOG 100.



**Tabelle 4.6:** LOG Spundwand

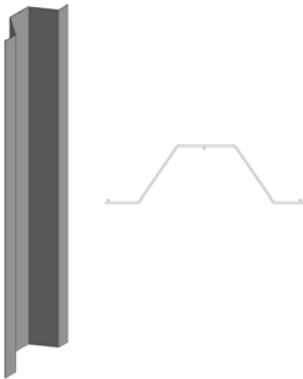
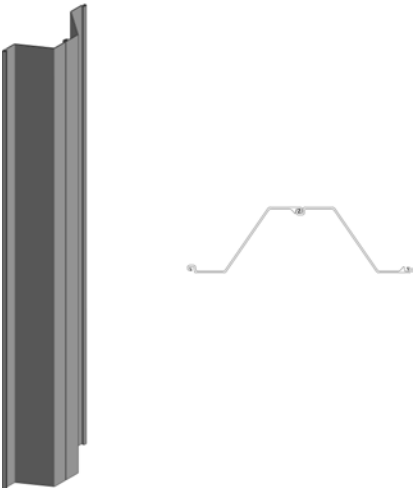
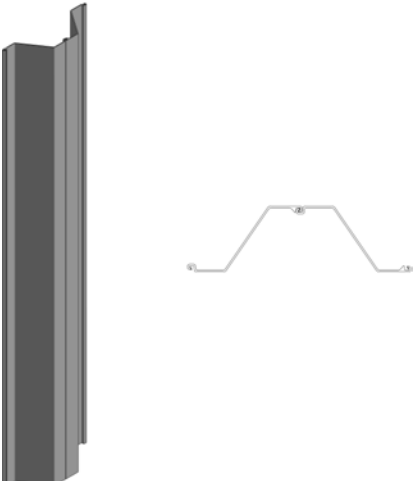
<p>LOG 300 Darstellung der einzelnen Spundbohlen und Unterscheidung in Eck-, Konstruktions-, Füll-, und Tragbohlen.</p> <p>Zusätzliche Parametrisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezifische Profilwerte Spundbohle.</li> <li>- Ober- / Unterkante</li> </ul>	
<p>LOG 350 Darstellung der einzelnen Spundbohlen mit Lage der Schlösser.</p> <p>Die weitere Parametrisierung betrifft die Konnektoren.</p> <p>Mögliche Konnektoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schlösser der Spundwandbohle</li> <li>- Schubknaggen</li> </ul>	
<p>LOG 400 Mögliche Einbauteile werden in diesem Level dargestellt.</p> <p>Die weitere Parametrisierung betrifft die Einbauteile.</p> <p>Detaillierte Darstellung der Konnektoren aus dem LOG 350</p>	

Tabelle 4.7: Attribuierung von Spundwandbohlen bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	- -	Material -	Material -	Material Profil/Typ	- -	- -
AwF 5	Klassifikation -	Klassifikation Material	- -	Klassifikation Material	- -	- -
AwF 7	Klassifikation - - -	Klassifikation Material Materialgüte Profil /Typ Ober-/Unterkannte	Klassifikation Material Materialgüte Profil /Typ Ober-/Unterkannte	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengeneinheit	Klassifikation Material Materialgüte Mengenansatz Profil /Typ Korrosionsschutz	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
AwF 11	- - - - - - -	- - - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Material Materialgüte Mengeneinheit Profil/Typ Lieferform Durchmesser Ober-/Unterkannte Einbauteile Korrosionsschutz	Klassifikation Material Materialgüte Mengeneinheit Profil/Typ Lieferform Durchmesser Ober-/Unterkannte Einbauteile Korrosionsschutz
AwF 12	- - - -	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	- - -	- - -
AwF 14	- - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Profil /Typ Material Materialgüte Einbauteile Korrosionsschutz	- - - - -	- - - - -



### 4.6.3. Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Verankerungen

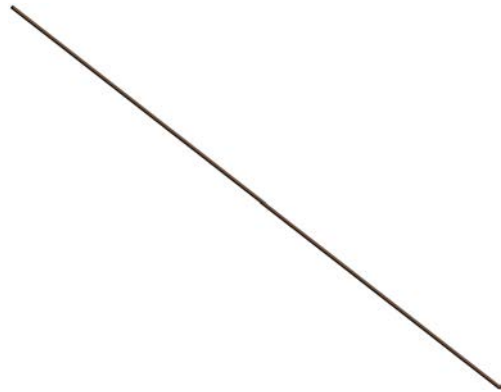
Die LOG-Definition und die Attribut-Tabelle der Verankerung kann auf jegliche Ankertypen übertragen werden.

**Tabelle 4.8:** Level of Geometry Anker

LOG 100 Darstellung des Ankers als Zylinder.

Parametrisierung:

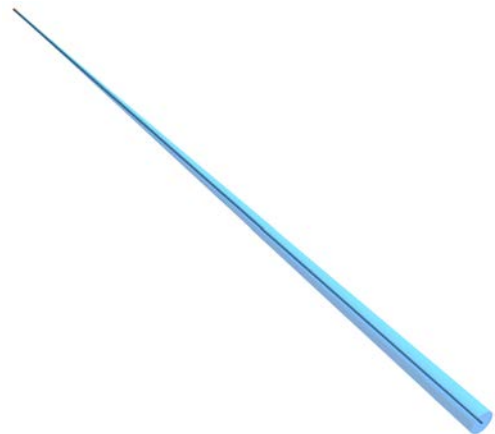
- Länge des Ankers



LOG 200 Darstellung des Ankers als Zylinder mit Toleranzkörper als Kegelstumpf.

Zusätzliche Parametrisierung:

- vertikale und horizontale Neigung des Ankers
- größter Durchmesser des Toleranzkörpers

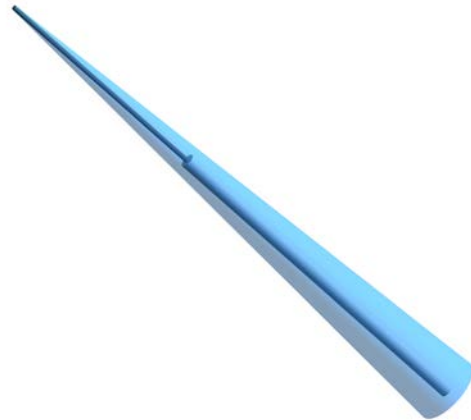


**Tabelle 4.8:** Level of Geometry Anker

LOG 300 Zusätzliche Darstellung des Verpresskörpers als Zylinder.

Zusätzliche Parametrisierung:

- Durchmesser des Ankers und des Verpresskörpers



LOG 350 Zusätzliche Darstellung des Ankerkopfs in vereinfachter Form, sodass der Platzbedarf abgeleitet werden kann.

Die weitere Parametrisierung betrifft die Konnektoren.

Mögliche Konnektoren:

- Ankerkopf



LOG 400 Ausführungsreife Darstellung, sodass Detailpläne aus dem 3D-Modell abgeleitet werden können

Parametrisierung wie LOG 350



**Tabelle 4.9:** Attribuierung eines Verankerungselements bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Bauphase	-	-	-	-	-
AwF 3	-	Material Ankertyp	Material Ankertyp	Material Ankertyp	-	-
AwF 5	Klassifikation	Klassifikation Material	-	Klassifikation Material	-	-
AwF 7	Klassifikation Ankertyp	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup>	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup> Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-	-
AwF 10	Klassifikation Material Anzahl	Klassifikation Ankertyp Anzahl Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup> Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-	-	-
AwF 11	-	-	-	-	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Durchmesser <sup>1</sup> Durchmesser Bohrung	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Durchmesser <sup>1</sup> Durchmesser Bohrung
AwF 12	-	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung Elementnummer	-	-
AwF 14	-	-	-	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Durchmesser <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-

<sup>1</sup>Getrennte Angaben für Zugglied und Verpresskörper

#### 4.6.4. Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Schleusenausrüstung

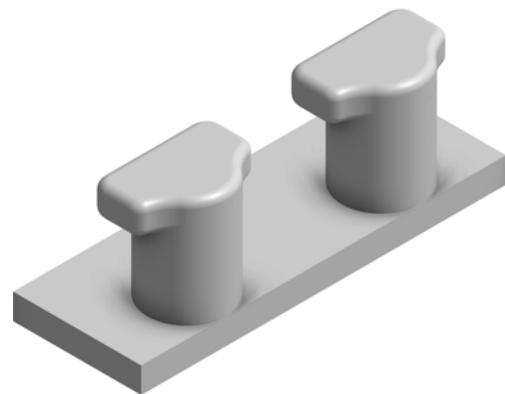
Aufgrund einer Vielzahl an unterschiedlicher Schleusenausrüstung wird in diesem Abschnitt exemplarisch ein Doppelpoller in seinen Leveln of Geometry dargestellt. Die Level of Geometry anderer Ausrüstung kann nach dem gleichen Modellierungsprinzipien nachempfunden werden. Da es sich bei Schleusenausrüstung um Standardobjekte handelt, werden diese nicht parametrisiert und Darstellung im LOG 100 als nicht zu definierender Körper ist nicht sinnvoll.

**Tabelle 4.10:** Level of Geometry der Schleusenausrüstung am Beispiele eines Doppelpollers

LOG 100 keine Darstellung des LOG 100

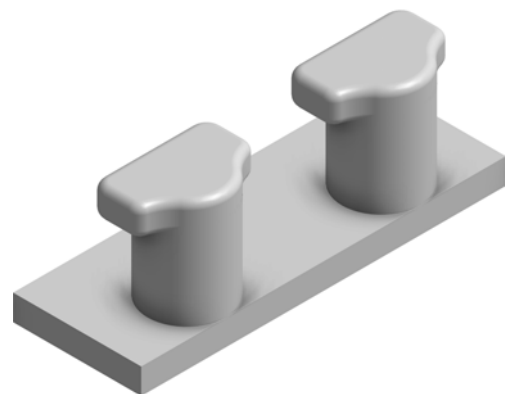
LOG 200 Die Darstellung erfasst die äußere Geometrie eines Doppelpollers mit undefiniertem Typ.

keine Parametrisierung



LOG 300 Der Doppelpoller wird gemäß seiner typgerechten Abmessungen modelliert.

keine Parametrisierung



**Tabelle 4.10:** Level of Geometry der Schleusenausrüstung am Beispiele eines Doppelpollers

LOG 350 Zusätzliche Darstellung der Halteverankerung.

keine Parametrisierung



LOG 400 Der geometrischen Detaillierung werden Schrauben, Muttern, etc. hinzugefügt.

keine Parametrisierung



**Tabelle 4.11:** Attribuierung der Schleusenausrüstung bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Typ Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	-	Typ	Typ	Typ	-	-
AwF 5	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	- - -	- - -
AwF 7	- -	Klassifikation Typ	Klassifikation Typ	Klassifikation Typ	- -	- -
AwF 10	Klassifikation Typ Stückzahl	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	- - - -	- - - -
AwF 11	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz
AwF 12	- - - -	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	- - - -	- - - -
AwF 14	- -	- -	- -	Klassifikation Typ	- -	- -

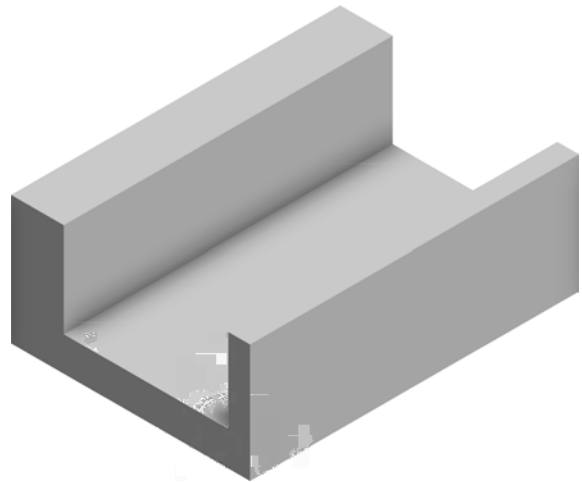
#### 4.6.5. Level of Geometry und Attribut-Tabelle von Massivbaufachmodellen

Aufgrund einer Vielzahl von unterschiedlichen Bauteilen wird die LOG-Struktur des Massivbaus repräsentativ für das Unterhaupt einer Binnenschleuse vorgestellt. Die LOG-Struktur kann auf andere Bauteile des Massivbaus übertragen werden. Infolge der individuellen Gestaltungsmöglichkeiten erfolgt eine Parametrisierung nur im LOG 100. Die Darstellung der Bewehrung im LOG 350 wird in dieser Arbeit nicht vorgenommen.

**Tabelle 4.12:** Level of Geometry von Elementen des Massivbaus am Beispiel eines Unterhaupts

LOG 100 Das Massivbauelement wird mit überwiegend horizontalen und vertikalen Kanten modelliert. Es wird bis zur Oberfläche modelliert; innenliegende Bereiche und Aussparungen werden nicht dargestellt.

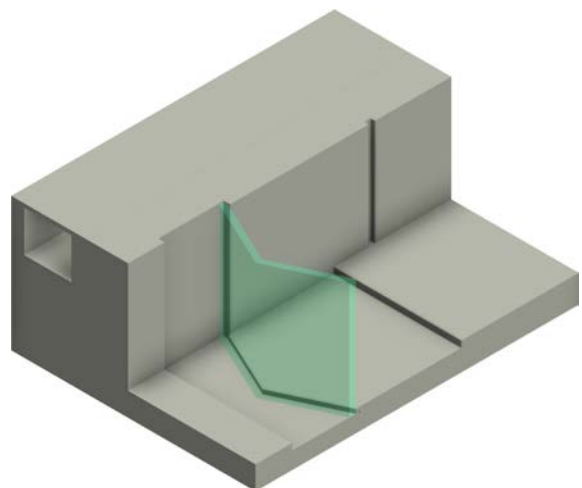
Die Parametrisierung betrifft die äußeren Abmessungen in horizontaler und vertikaler Richtung.



LOG 200 Im LOG 200 werden weitere Details hinzugefügt. Innenliegende Bereiche und Aussparungen werden in Form von einfachen Abzugskörpern modelliert. Auf die Modellierung von Fasen und Abschrägungen wird sofern möglich verzichtet.

keine Parametrisierung

*Hinweis: Die Darstellung des Schleusentores (grün) dient lediglich der Veranschaulichung.*

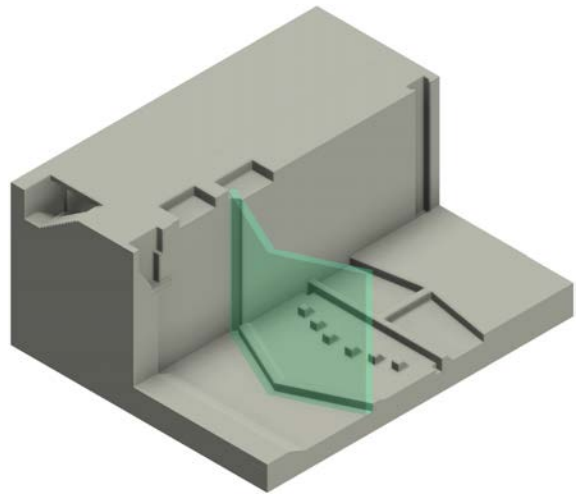


**Tabelle 4.12:** Level of Geometry von Elementen des Massivbaus am Beispiel eines Unterhaupts

LOG 300 Das Massivbauelement wird mit Fasen, Abschrägungen und Aussparungen modelliert. Sofern bereits Bauabschnitte bekannt sind, wird das Element in den entsprechenden Abschnitten modelliert.

keine Parametrisierung

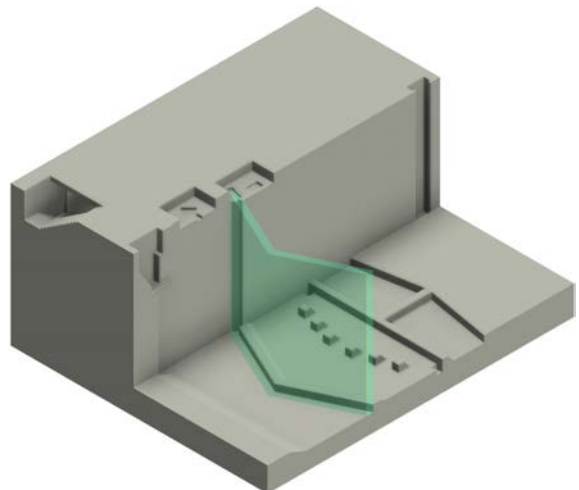
*Hinweis: Die Darstellung des Schleusentores (grün) dient lediglich der Veranschaulichung.*



LOG 350 Darstellung wie in LOG 300. Anschlüsse zu anderen Bauteilen (z.B. Zweitbeton) werden dargestellt.

keine Parametrisierung

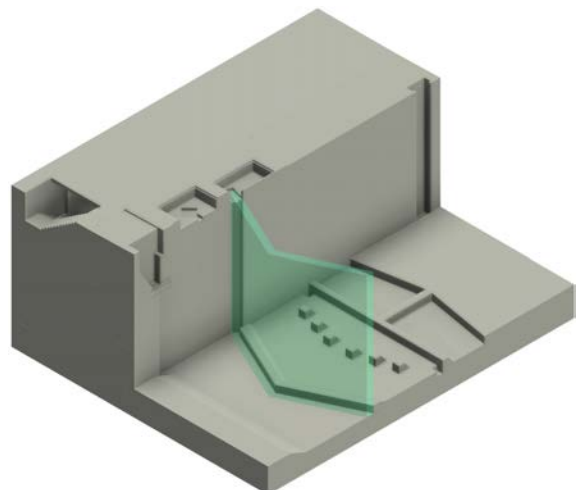
*Hinweis: Die Darstellung des Schleusentores (grün) dient lediglich der Veranschaulichung.*



LOG 400 Vollumfängliche Darstellung aller Geometrien.

keine Parametrisierung

*Hinweis: Die Darstellung des Schleusentores (grün) dient lediglich der Veranschaulichung.*





**Tabelle 4.13:** Attribuierung eines Elements des Massivbaus bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	-	Material	Material	Material	-	-
AwF 5	Klassifikation Material	Klassifikation Material	- -	Klassifikation Material	- -	- -
AwF 7	Klassifikation Material	Klassifikation Material bewehrt/unbewehrt Oberflächengefälle	Klassifikation Material bewehrt/unbewehrt Oberflächengefälle	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengenansatz	Klassifikation Material Mengenansatz Bewehrungsgehalt Bauteilgeometrie Einbringverfahren	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
AwF 11	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Material Materialspezifikation Mengeneinheit Bewehrungsangaben <sup>1</sup> Bauteilgeometrie	Klassifikation Material Materialspezifikation Mengeneinheit Bewehrungsangaben <sup>1</sup> Bauteilgeometrie
AwF 12	- - - -	Klassifikation Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Verknüpfung Betonierabschnitte	- - - -	- - - -
AwF 14	- -	- -	- -	Klassifikation Material	- -	- -

<sup>1</sup>Bewehrungsgehalt, Bewehrungstyp und Mindestbewehrung

#### 4.6.6. Attribuierung von Bestandsmodellen

Die LOG-Struktur des Bestands ist abhängig von dem zu erfassenden Bauteil und wird aus diesem Grund nicht dargestellt. Umfasst die Bestandsmodellierung beispielsweise das Unterhaupt einer Schleuse, so wird die LOG-Struktur des Massivbaus aus Tabelle 4.12 angewendet.

**Tabelle 4.14:** Attribuierung eines Bestandselements bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauwerkszustand Bauphase <sup>1</sup>	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
AwF 3	-	Material	Material	Material	-	-
AwF 5	-	Klassifikation Material	-	Klassifikation Material	-	-
AwF 7	Klassifikation Material Abbruchabschnitt	Klassifikation Material Abbruchabschnitt	Klassifikation Material Abbruchabschnitt Bauwerkszustand Emissionen <sup>2</sup>	-	-	-
AwF 10	Klassifikation Material Bauwerkszustand	Klassifikation Material Bauwerkszustand	-	-	-	-
AwF 11	-	-	-	-	Material Festigkeitsklasse bewehrt/umbewehrt	Material Festigkeitsklasse bewehrt/umbewehrt
AwF 12	-	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung Emissionen	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung Emissionen	-	-
AwF 14	-	-	-	Klassifikation Material	-	-

<sup>1</sup> Je nach Bauwerkszustand: Abbruch, Instandsetzung, etc.

<sup>2</sup> Erforderliche Attribute gemäß Umweltverträglichkeitsuntersuchung

## 5. Anwendung des entwickelten Konzepts an einem Praxisbeispiel

In diesem Kapitel wird das entwickelte Konzepte zu den Modellinhalten von BIM-Modellen von Schleusenbauwerken an einem Praxisbeispiel angewandt. Nach einer kurzen Einführung zum Projekt, wird die BIM-Projektphase beschrieben, die bereits vor Beginn der vorliegenden Arbeit von *WTM Engineers GmbH* durchgeführt wurde. Anschließend erfolgt die Auswertung des Konzepts hinsichtlich der bearbeiteten Anwendungsfälle und der Leistungsphase 2 und 3. Das Kapitel endet mit einem Ausblick auf die Genehmigungsplanung und die Ausführungsplanung.

### 5.1. Projektbeschreibung

Der Nord-Ostsee-Kanal ist die weltweit meistbefahrene künstliche Wasserstraße für Seeschiffe und existiert bereits seit 1895 (WSA Kiel, 2017). Die Schleusenanlage Kiel-Holtenau trennt die Ostsee vom Nord-Ostsee-Kanal und besteht aus der *Kleinen* und der *Großen Schleuse*. Das Projektbeispiel wird an der *Kleinen Schleuse* angewandt. Die zwei Kammern besitzen jeweils eine Nutzlänge von 125 m, eine Nutzbreite von 22 m und eine Drempeltiefe von 9,80 m.

Die Fertigstellung der Bauwerke erfolgte vor über 100 Jahren (WSA Kiel, 2017). Der Bauwerkszustand der Schleusenanlage ist dem Alter entsprechend stark sanierungsbedürftig. Umfangreiche Bauwerksinspektionen zeigen auf, dass sich nahezu alle Bauwerke und Bauteile in einem schlechten baulichen Zustand befinden und ein Ersatzneubau notwendig ist. Der Ersatzneubau wird an gleicher Stelle und mit ähnlichen Bauwerksabmessungen vorgenommen. Aufgrund der starken Bauwerksschäden wurden beide Schleusenammern aus Gründen der Stabilisation mit Sand verfüllt. Dafür wurden im Außen- und Binnenhaupt Fangedämme errichtet. Der beschriebene Sachverhalt stellt die Ausgangssituation des Projektbeispiels dar.

Grundlage des Projektbeispiels ist die Machbarkeitsstudie „Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel-Holtenau“ vom 29.02.2016. Die vorliegende Planungstiefe der Machbarkeitsstudie entspricht einer Vorplanung.

## 5.2. Vorangegangene BIM-Anwendungsfälle im Projektbeispiel

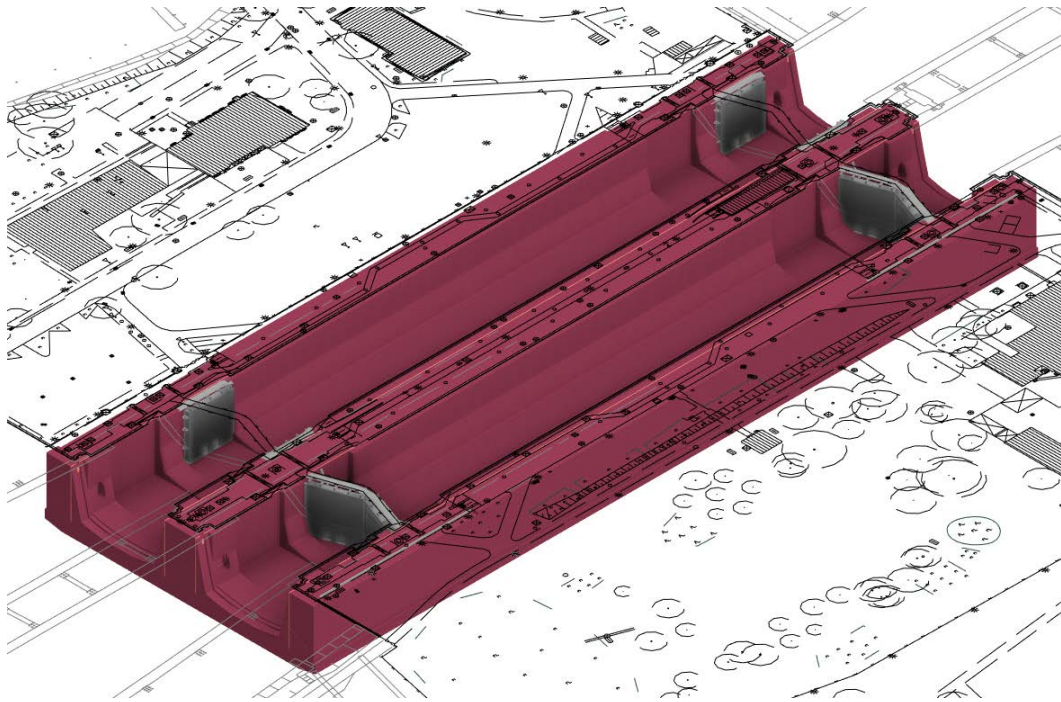
Das Projekt stellt kein offizielles BIM-Pilotprojekt des WSV dar und es existieren somit keine Auftraggeber-Informationsanforderung und kein BIM-Abwicklungsplan. Vielmehr wird der BIM-Prozess in Eigenregie von der zuständigen Planungsgemeinschaft *WTM Engineers GmbH* und *IRS Stahlwasserbau Consulting AG* durchgeführt, um die BIM-Kompetenzen im Bereich des konstruktiven Wasserbaus auszuweiten und den Erfahrungsaustausch im Dialog mit der WSV anzuregen. Nachfolgend wird der Projektfortschritt, der bis zu Beginn der Arbeit im Bereich BIM erfolgte, dargelegt. Die BIM-Ziele des Projekts wurden dabei wie folgt formuliert:

- Aufbau eines 3D-BIM-Modells im Wasserbau (Bestand, Baugrube, Neubau)
- Aufbau wasserbauspezifischer, parametrischer Bauteildatenbanken
- Austausch von Fachmodellen
- 4D Bauphasen- und Terminplanung
- 5D Mengenermittlung
- Ableiten von Plänen aus dem Modell

Die Erstellung des Bestandsmodells erfolgte auf Grundlage von Bestandsunterlagen in Form von 2D-Plänen (siehe Abbildung 5.1). In Abbildung 5.1 ist ebenfalls der hinterlegte Lageplan abgebildet, der verwendet wurde, um das Bestandsmodell und das spätere Neubaumodell in die Landschaftsumgebung einzuordnen.

Der Modellierungsvorgang berücksichtigt die Abbruchabschnitte des Bestands, indem die Schleusenhäupter und die Schleusenkammer in die entsprechenden Abbruchabschnitte unterteilt sind. Die Modellierung des Neubaus Massivbaumodells umfasste die Koordination mit dem Modell der Schleusentore (grau), das im Planungsbüro *IRS Stahlwasserbau Consulting AG* entstand.

Die Modellerstellung erfolgte mit der Software *Autodesk Revit 2016* und fokussierte sich auf die geometrische Nachführung der Bestandsschleuse und des Neubaus des Massivbaus inklusive Baugrube sowie den Datenaustausch mit dem Planungspartner. Die Attribuierung des Modells beschränkt sich auf die Bauteilbezeichnung, Unterscheidung der Materialien sowie die Zuordnung zu den Bauphasen.



**Abbildung 5.1:** Bestandsmodell der kleinen Schleuse Kiel-Holtenau (WTM Engineers GmbH mit IRS Stahlwasserbau Consulting AG)

### 5.3. Bearbeitungstiefe und Auswertung hinsichtlich der bearbeiteten Anwendungsfälle in der Vorplanung

Die Auswertung des Projektbeispiels erfolgt hinsichtlich der Umsetzbarkeit der entwickelten LOG-Struktur und der Attribut-Tabellen bezogen auf die bearbeiteten Anwendungsfälle nach BIM4INFRA2020 (2017b) und den Leistungsphasen der HOAI. Die Auswertung erfolgt gemäß der Leistungsphasen Vorplanung und Entwurfsplanung. Der derzeitige Projektstand lässt eine Modellerstellung für die Genehmigungsplanung und Ausführungsplanung nicht zu, sodass in Abschnitt 5.6 lediglich ein Ausblick gegeben wird.

Ein Großteil der Modellerstellung bestand in der Erstellung von Bauteilfamilien in den unterschiedlichen Detaillierungsgraden, da zum Beispiel im Falle der Spundwand eine Bauteilfamilie vorhanden war, aber Angaben zu Profilwerten und die Darstellung der Schlösser in der Vorplanung nicht erforderlich sind. Aus diesem Grund wurden bereits bestehende Familien in niedrigere LOG überführt. Das BIM-Modell der Baugrube konnte mithilfe der Familien modular aufgebaut werden.

In der LPH 2 der HOAI werden die Grundlagen des Projekts analysiert und Untersuchungen von Lösungsmöglichkeiten durchgeführt. Das Erarbeiten eines Planungskonzepts erfolgt unter

anderem mittels zeichnerischer Darstellung und Einarbeitung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter (Verband Beratender Ingenieure, 2013).

Im Zuge des Projektbeispiels wurde in der Vorplanung der AwF 2 Planungsvariantenuntersuchung durchgeführt. Zudem wird auf das Ergebnis der Bestandserfassung zurückgegriffen, das bei Beginn der Arbeit bereits vorlag. Die Bestandserfassung steht in enger Verbindung zu den darauffolgenden Anwendungsfällen und kann daher auch ohne eigenes Modellieren bewertet werden.

In den Anwendungsfällen Visualisierung, Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen und Kostenschätzung und Kostenberechnung konnten aus zeitlichen Gründen lediglich die Erfüllungsmethoden angewendet werden. Das heißt weiterführende Software, zum Beispiel durch den Export des BIM-Modells zu einer Kalkulationssoftware oder zu einem Bildbearbeitungsprogramm, wurde nicht verwendet.

Eine Übersicht zur geometrischen Detailtiefe wird im Rahmen des Anwendungsfalls Planungsvariantenuntersuchung gegeben (siehe Tabelle 5.2).

### 5.3.1. Attribuierung in der Vorplanung

Im folgenden Abschnitt werden die Attribute, die zur Bearbeitung der gewählten Anwendungsfälle notwendig sind, genannt. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit, weicht Tabelle 5.1 von der Darstellung der Vorlagen-Tabelle 4.3 ab, da sich die Überschriften dieses Kapitels nach den Leistungsphasen orientieren und somit die Erstellung einer Attribut-Tabelle für jedes Bauteil nicht erforderlich ist. Tabelle 5.1 listet daher die Attribute nach den modellierten Bauteilen und den bearbeiteten Anwendungsfällen. Die Zuweisung der Attribute zu den Modellelementen wird direkt im BIM-Modell vorgenommen. Zudem ist die „Anzahl“ als Auswertungsinformation angegeben, die direkt aus dem Modell abgeleitet und für die Erfüllung den Anwendungsfall der Kostenschätzung notwendig sind.

Die Variantenuntersuchung berücksichtigt bereits die bauzeitlichen Auswirkungen, weshalb zusätzlich das Attribut „Bauphase“ mit aufgenommen wird.

Wie bereits in Abschnitt 4.4 erläutert, werden die Attribute der Kostenschätzung maßgeblich von der gewählten Abrechnungsgrundlage bestimmt. Im Projektbeispiel werden die Kosten über die Stückzahlen und den entsprechenden Erfahrungswerten für Bohrpfähle, Spundwandbohlen und Anker abgeschätzt, weshalb hier keine weiteren Attribute im Modell hinterlegt werden.

Die Schleusentore werden in Tabelle 5.1 nicht berücksichtigt, da sie bereits vor Projektbeginn demontiert wurden und der Stahlwasserbau nicht Teil der Planung von *WTM* ist. Die Schleusentore werden im Bestandsmodell lediglich zu Visualisierungszwecken abgebildet.

**Tabelle 5.1:** Attribuierung der Bauteile nach den Anwendungsfällen in der Vorplanung

	Bohrpfahlwand	Spundwand	Anker	Massivbau (Neubau) Kammerwände, -sohle & Häupter	Bestand Kammerwände, -sohle & Häupter
AwF 2	Klassifikation Bauphase Material: Beton	Klassifikation Bauphase Material: Stahl	Klassifikation Bauphase Material: Stahl	Klassifikation Bauphase Material: Beton	Klassifikation Abbruchphase Bauwerkszustand Material: Mauerwerk
AwF 3	–	–	–	–	Material: Mauerwerk
AwF 7	Klassifikation	Klassifikation	Klassifikation Ankertyp	Material KW <sup>1</sup> : Stahlbeton Material SH <sup>2</sup> : Stahlbeton Material KS <sup>3</sup> : Stahlbeton	Klassifikation Material: Mauerwerk Abbruchabschnitt
AwF 10	Klassifikation Anzahl Material: Beton	Klassifikation Anzahl Material: Stahl	Klassifikation Anzahl Material: Stahl	Klassifikation Material KW <sup>1</sup> : Stahlbeton Material SH <sup>2</sup> : Stahlbeton Material KS <sup>3</sup> : Stahlbeton	Klassifikation Material KW <sup>1</sup> : Mauerwerk Material SH <sup>2</sup> : Mauerwerk Material KS <sup>3</sup> : Stampfbeton

<sup>1</sup> KW = Kammerwand

<sup>2</sup> SH = Schleusenhaupt

<sup>3</sup> KS = Kammersohle

Jeder Anwendungsfall formuliert individuelle Anforderungen an den geometrischen und semantischen Informationsgehalt des Modells. Diese Anforderungen werden in den nächsten Abschnitten beschrieben und diskutiert.

### 5.3.2. AwF 1 – Bestandserfassung

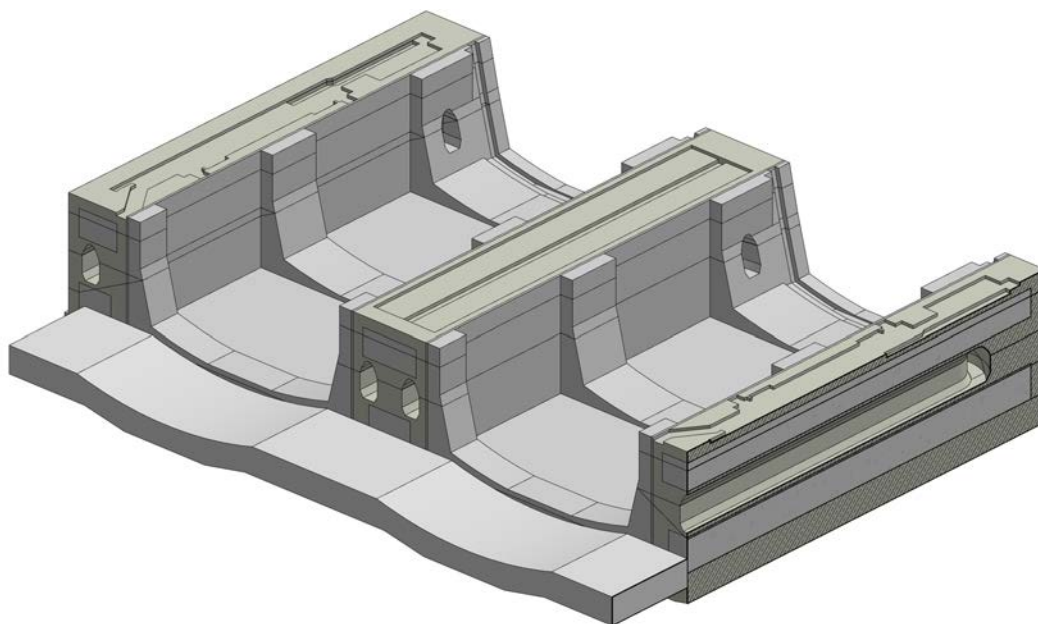
Die Bestandserfassung wurde anhand sekundärer Datenerfassung aus der Ableitung existierender Bestandspläne bereits vor Beginn dieser Arbeit durchgeführt. Somit konnte auf ein bestehendes BIM-Modell des Bestands des Außenhauts zurückgegriffen werden. Eine möglichst detailgetreue Darstellung des Bestands war hierbei einer der Testfälle für das Projekt *Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel-Holtenau*. Die Kammerwände und das Binnenhaupt wurden nicht anlässlich der damaligen Bestandsmodellierung erstellt, sondern im Rahmen dieser Arbeit modelliert.

Wie in Abschnitt 4.6.6 beschrieben ist die LOG-Struktur des Bestands vom betreffenden Bauteil abhängig. Im Hinblick auf die eigens entwickelte LOG-Struktur für Elemente des Massivbaus, kann das Bestandsmodell des Außenhauts dem LOG 300 zugeordnet werden, da die Aussparungen der Torkammer und der Umlaufkanäle mit Details dargestellt sind, die über die Anforderungen des LOG 200 hinausgehen (siehe Abbildung 5.2). Die Darstellung reicht jedoch nicht an das LOG 400 heran. Ein LOG 300 des Bestands ist für die Planungsvariantenuntersuchung, die Planableitung und die Kostenschätzung nicht erforderlich. Beispielsweise ist für die Darstellung der Umlaufkanäle ein idealisierter Abzugskörper mit rechteckigem Querschnitt für die Erfüllung der bearbeitenden Anwendungsfälle der Vorplanung ausreichend.

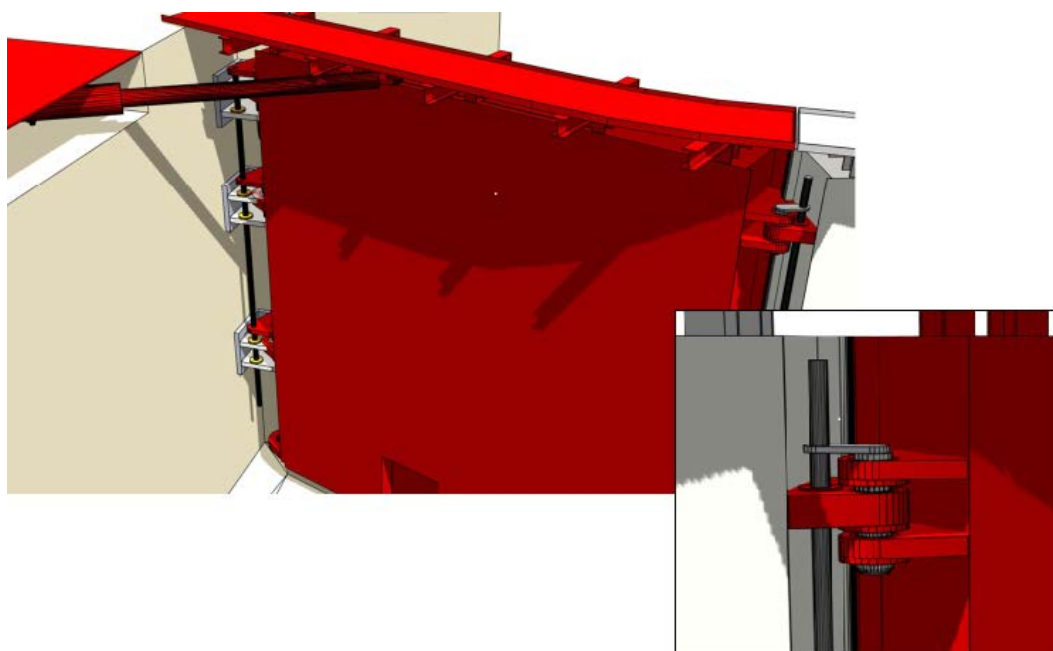
Im Zuge der Bestandserfassung wurden die Schleusentore im Büro des Planungspartners *IRS Stahlwasserbau Consulting AG* erstellt und im *Revit*-Format im Modell verknüpft. Abbildung 5.3 zeigt den hohen Detailreichtum der Tore. Die Rechenleistung der Hardware wurde durch die Darstellung der vielen Details merklich gemindert, weshalb die Schleusentore durch ein LOG 100 ersetzt wurden. Für die Bearbeitung der nachfolgenden Anwendungsfälle war die Darstellung der Tore ohne Bedeutung, da sie zu Beginn der Maßnahme bereits demontiert wurden. Die Modellierung der Schleusentore galt dem Testfall Koordination der Fachmodelle, der im Zuge dieser Arbeit nicht vorgenommen wurde.

Für das Projekt *Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel-Holtenau* waren die äußeren Abmessungen des Bestands für die Planung der Baugrube von Bedeutung. Hier zeigt sich der Vorteil einer strikten Unterscheidung der Level of Geometry zu den Level of Development. Die Darstellung des Bestands im LOG 200 war ausreichend zur Bearbeitung der gewählten Anwendungsfälle. Ein LOD 200 nach der LOD-Spezifikation des *BIMForums* hätte jedoch ungefähre Abmessungen, Position und Orientierung bedeutet. Die äußeren Abmessungen des Bestandsbauwerks sind jedoch exakt, wenn auch nicht mit allen Details, modelliert.





**Abbildung 5.2:** Darstellung der innenliegenden Strukturen des Bestandsbauwerks Außenhaupt - Zuschneidebereich durch oberen Abbruchabschnitt und rechte Kammerwand



**Abbildung 5.3:** Detailabbildung Schleusentor (Modellerstellung von IRS Stahlwasserbau Consulting AG)

Im Konsens zu BIM4INFRA2020 (2017b) wird erkannt, dass der AwF 1 Bestandserfassung eine bedeutsame Voraussetzung für die Durchführbarkeit und Qualität nachfolgender Anwendungsfälle bildet. Die ausgeprägte Vernetzung mit anderen Anwendungsfällen zeigt, dass die geometrischen und semantischen Anforderung an das Bestandsmodell stets unter Betrachtung folgender oder parallel ausgeführter Anwendungsfälle formuliert werden müssen. Beispielsweise ermöglicht die Modellierung des Bestands in verschiedenen Abbruchabschnitten eine Kopplung mit den Bauphasen, die wiederum bei der Attribuierung und bei der Modellierung berücksichtigt werden müssen. Für die Gewährleistung von Sicherheitsabständen zu benachbarten Bauteilen ist eine Darstellung im LOG 100 ausreichend, wenn die äußeren Abmessung hinsichtlich ihrer Lage und Orientierung exakt sind.

An dieser Stelle wird angemerkt, dass der AwF 1 nicht nur die Erfassung der Bestandsbauwerke, sondern auch die Erfassung von Rohrleitungen, Stromversorgung, Datenleitung, Dükern, uws. einschließt, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

Im bearbeitenden Projektbeispiel verhinderten die massiven Schäden der Massivbaukonstruktion eine Ertüchtigung des Bestands und erforderten einen Ersatzneubau. Jedoch wird im Bereich der Instandsetzung mit Blick auf andere Projekte das Potenzial gesehen, etwa die Dokumentation der Bauwerksrisse im Bestandsmodell zu hinterlegen. Dieser Gedanke wurde mit dem Attribut Bauwerkszustand in Tabelle B.6 aufgefasst.

Die Modellierung des Bestands auf Basis sekundärer Datenerfassung ist mitunter ein aufwendiges Unterfangen, da die Pläne im Falle von alten Schleusenanlagen nur analog zur Verfügung stehen und teilweise ein hohes Alter besitzen. Der tatsächliche Zustand eines Bauwerks ist deshalb in vielen Fällen nicht mit Bestandsplänen bestimmbar.

Es bleibt festzuhalten, dass bei der Nutzung sekundärer Informationsquellen die Erfassung wesentlicher Daten im Mittelpunkt steht. Deshalb ist es ratsam, vor Projektbeginn die notwendigen Ausprägungen der Geometrien des Bestandsmodells in der AIA festzulegen, damit der Arbeitsaufwand auf Seiten des Auftragnehmers abgeschätzt werden kann.

### **5.3.3. AwF 2 – Planungsvariantenuntersuchung**

Die Ausgangssituation stellt das Bestandsmodell mit den zwei Fangedämmen innerhalb der Häupter dar. Auf Basis von 2D-Plänen der Vorplanung sowie Dokumenten zur Machbarkeitsstudie, Variantenuntersuchung und zur Kostenschätzung, wurden die BIM-Modell sukzessive aufgebaut.

Eine vorgezogene Untersuchung zur Ertüchtigung der Bestandskonstruktion ergab, dass nur ein vollständiger Abbruch und anschließender Neubau der zwei Kammern erfolgen kann. Hierbei wurden im Zuge der Vorplanung mehrere Varianten untersucht, die hinsichtlich des Bauablaufs, der bauzeitlichen Risiken, der Auswirkungen der Baumaßnahme auf Natur und Umwelt, der Robustheit und Qualität der Konstruktion und der Wirtschaftlichkeit bewertet wurden. Für

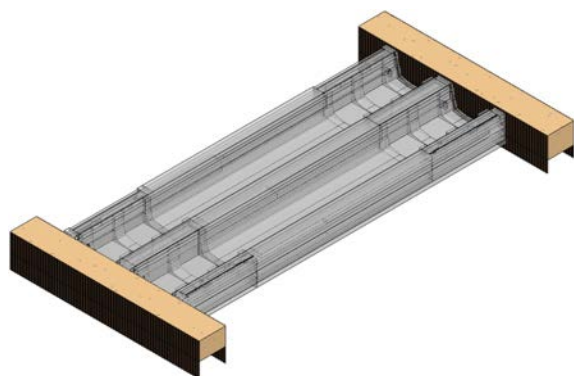
die Planungsvariantenuntersuchung wurde sich im Rahmen des Anwendungsbeispiels auf zwei Varianten beschränkt.

Variante 1 ersetzt die Seitenwände und die Mittelwand durch eine rückverankerte Bohrpfahlwand und stellt die Kammersohle als eine rückverankerte Unterwasserbetonsohle (UWB) her. Die Häupter werden als monolithische Massivbaurahmenkonstruktion ausgebildet.

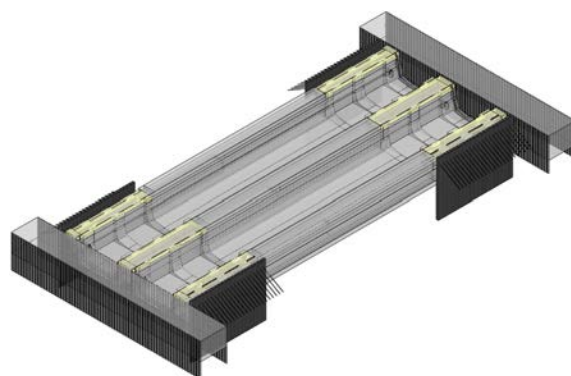
In der späteren Vorzugsvariante 2 werden die Kammerwände, die Kammersohle und die Häupter als eine monolithische Massivbaurahmenkonstruktion hergestellt. Eine Bohrpfahlwand bildet die Baugrubenumschließung, die zur Fertigstellung der Baumaßnahme im Bereich zwischen Massivbau und Baugrubenumschließung mit geeignetem Bodenmaterial verfüllt wird.

Zu Beginn der Modellerstellung wurden die erforderlichen Ebenen und Raster erstellt. Hier zeigten sich bereits Vorteile bei der Wahl der richtigen *Revit*-Familienvorlage. Bauteilfamilien, die auf zwei Ebenen basieren, ließen sich so ohne größeren Aufwand bearbeiten.

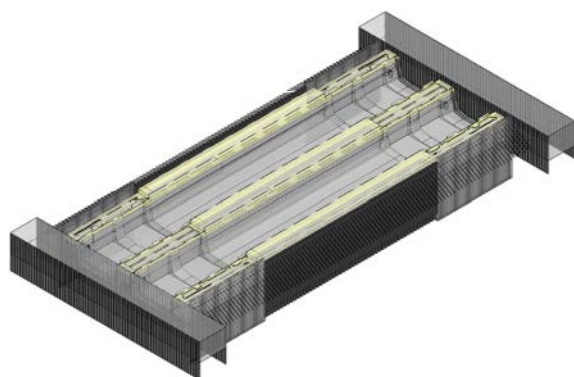
Der Bauablauf der Vorzugsvariante 2 ist nachfolgend in Abbildung 5.4 bis Abbildung 5.9 in sechs Bauphasen zusammengefasst. Die abzubrechenden Objekte des Bestands sind gelb; die Objekte des Neubaus sind schwarz gekennzeichnet.



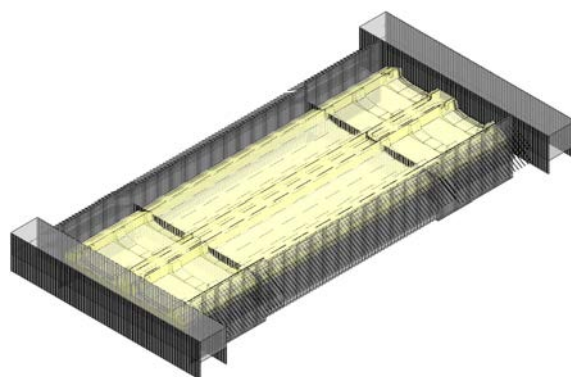
**Abbildung 5.4:** Bauphase 1: Fangedämme



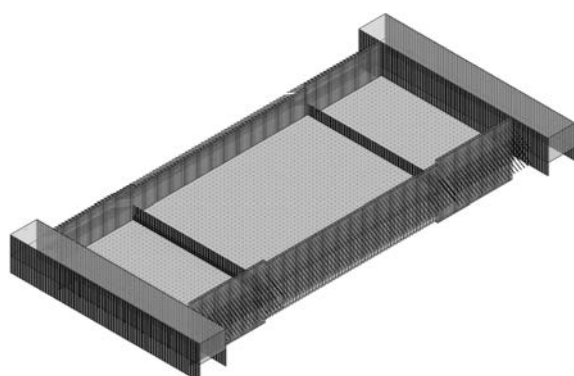
**Abbildung 5.5:** Bauphase 2: Seitliche Baugrubenwände Häupter



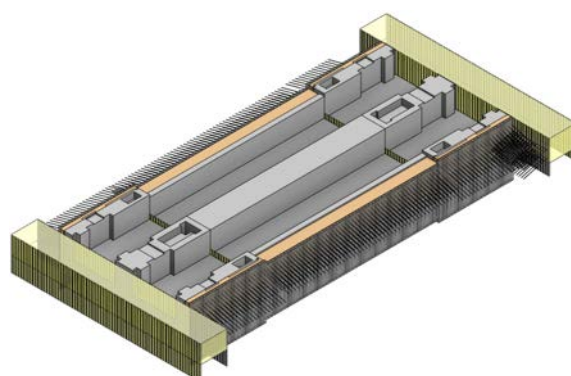
**Abbildung 5.6:** Bauphase 3: Seitliche Baugrubenwände Kammer



**Abbildung 5.7:** Bauphase 4: Abbruch des restlichen Bestands



**Abbildung 5.8:** Bauphase 5: Unterwasserbetonsohle (UWB)



**Abbildung 5.9:** Bauphase 6: Massivbau neue Schleuse

Unterschiedliche Zielsetzungen innerhalb der Variantenuntersuchung beeinflussen den Detaillierungsgrad der Modellelemente. Der Neubau einer Schleuse erfordert unter Umständen die Ermittlung der optimalen Lage der Schleusenhäupter. Teilweise ist auch ein erforderlicher Mindestabstand zum Bestand sicherzustellen oder es gilt kostenintensive Baugruben, die im Wasserbereich hergestellt werden, zu vermeiden. In diesen Fällen kann der Schleusenkörper im LOG 100 modelliert werden. Bei der Baumaßnahme der *Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau* handelt es sich jedoch um einen Ersatzneubau und eine Variantenuntersuchung zur Lage der Häupter war untergeordnet, da die Abmessungen der Bestandsschleuse weitestgehend übernommen werden.

Die Variantenuntersuchung behandelt zudem die Anordnung der Räumlichkeiten für die Maschinenteknik und E-Technik im Schleusenkörper. Aus diesem Grund werden die Häupter im LOG 200 modelliert, da gemäß der entwickelten LOG-Struktur des Massivbaus innenliegende Strukturen im LOG 100 nicht dargestellt werden. Im Projektbeispiel besitzen die Kammerwände keine innenliegenden Räumlichkeiten, sodass die Modellierung im LOG 100 erfolgen kann. Zudem wird die Planung der Ausrüstung (Steigleitern, Poller, etc.) in der LPH 3 vorgenommen, sodass keine Aussparungen berücksichtigt werden müssen.

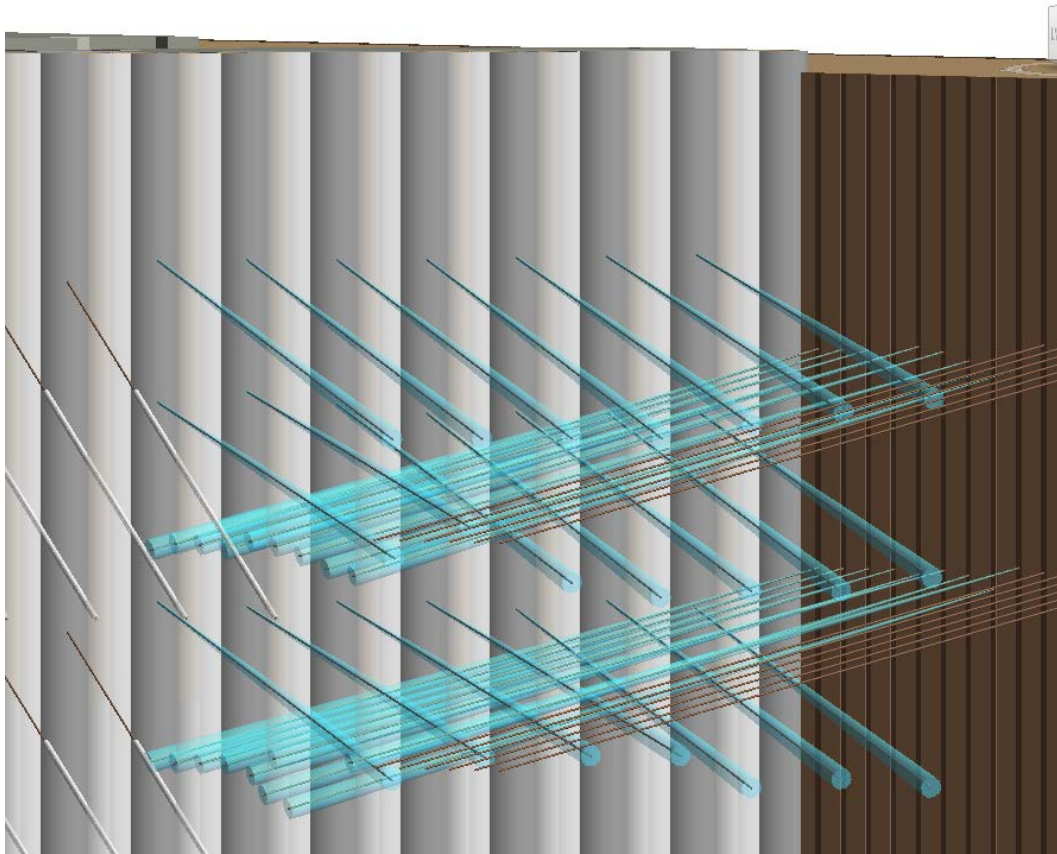
Tabelle 5.2 zeigt die unterschiedlichen Level of Geometry der einzelnen Bauteile oder Bauteilgruppen der zwei Varianten.

**Tabelle 5.2:** Level of Geometry der zwei Variantenmodelle

Bauteile / Bauteilgruppen	Variante 1 Bohrpfahlwand	Vorzugsvariante 2 Rahmenkonstruktion
Bestandsmodell Schleusenhäupter	LOG 300	LOG 300
Bestandsmodell Kammerwände	LOG 200	LOG 200
Bestandsmodell Kammersohle	LOG 200	LOG 200
Massivbau Schleusenhäupter	LOG 200	LOG 200
Massivbau Kammerwände	LOG 100	LOG 100
Massivbau Kammersohle	LOG 100	LOG 100
Spundwand Fangedämme	LOG 200	LOG 200
Spundwand zwischen Kammer und Häupter	LOG 200	LOG 200
Bohrpfahlwand	LOG 200	LOG 200
Anker seitliche Kammerwände	LOG 100	LOG 100
Anker im Überschneidungsbereich	LOG 200	LOG 200
Vertikalanker der rückverankerten UWB	LOG 100	LOG 100

Für eine Kostenschätzung ist das LOG 100 der Anker ausreichend, denn es erlaubt die Bestimmung der Stückzahlen, die eine Abschätzung der Kosten mit Erfahrungswerten erlaubt. Der außenliegende Teil des Fangedamms vor dem Außenhaupt, dient nach Abschluss der Baumaßnahme der Böschungssicherung und muss entsprechend rückverankert werden. In diesem Bereich kommt es mit der Rückverankerung der Baugrube zu einem Überschneidungsbereich, der in in Abbildung 5.10 dargestellt ist. Der hier entstandene Überschneidungsbereich der

Anker erfordert eine lokale Erhöhung des LOG, da mithilfe der Darstellung der Toleranzkörper im LOG 200 die Lage der Anker optimiert werden kann. Die Toleranzkörper repräsentieren die Ungenauigkeiten, die beim Bohren der Verpressanker entstehen können.



**Abbildung 5.10:** Darstellung des Überschneidungsbereichs der Anker im Bereich der Flügelwand

Ein modular aufgebautes Modell kann in Vorplanung mit wenig Arbeitsaufwand erstellt werden, vorausgesetzt es wird zum Beispiel die Kollisionsprüfung einer Verankerung und die gegebenenfalls erforderliche Verschwenkung einzelner Anker erst im Entwurf durchgeführt.

#### 5.3.4. AwF 3 – Visualisierung in der Vorplanung

Eine Visualisierung des BIM-Modells wird nach BIM4INFRA2020 (2017b) vornehmlich in Projektbesprechungen und für die Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit kann dieser Anwendungsfall daher nur in der Theorie behandelt werden.

Wie bereits in Abschnitt 4.2.4 festgestellt, besitzen Anwendungsfälle auch innerhalb einer Leistungsphase verschieden starke Bearbeitungstiefen. Für den AwF 3 (Visualisierung) ist eine exakte Formulierung des zu erwartenden Nutzens erforderlich, da die Ausprägung von einfachen Abbildungen bis zu fotorealistischen Animationen reicht.

In erster Linie wird die Visualisierung durch den geometrischen Detaillierungsgrad beeinflusst, doch auch Attribute haben Einfluss auf die Darstellung. Im vorliegenden Praxisbeispiel waren für eine Visualisierung lediglich die Attribute des Materials für den Bestand notwendig, um den Unterschied zwischen Bestand und Neubau deutlicher darzustellen.

Es bleibt festzuhalten, dass eine Visualisierung für alle Bauwerkstypen und Detaillierungsgraden erfolgen kann und ein hilfreiches Mittel für die Kommunikation darstellt.

### 5.3.5. AwF 7 – Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen

Das BIM-Modell der *Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau* wurde auf Basis der Machbarkeitsstudie nachgeführt. Die originalen 2D-Pläne wurden genutzt, um den geometrischen Detaillierungsgrad des Modells an den 2D-Plänen zu orientieren.

Die Erfüllungsmethoden der Visualisierung und der Planableitung werden für die Übermittlung der Entwurfsidee genutzt, weshalb im Falle der Planableitung die Schraffuren des Betons und des Mauerwerks dargestellt werden. Die Schraffuren ergeben sich über die zugeordneten Materialien im BIM-Modell.

Ein Mehrwert eines BIM-Modells in der Vorplanung wird in der automatisierten Anpassung von Plänen gesehen. Insbesondere in der Variantenuntersuchung kommt es häufig zu Planänderungen, die nach der traditionellen Methode dazu führt, dass alle Pläne manuell angepasst werden müssen.

### 5.3.6. AwF 10 – Kostenschätzung

Wie bereits in Abschnitt 5.3.1 beschrieben, bestimmt die Abrechnungsbasis der Kostenschätzung den Detaillierungsgrad der Modellelemente, denn unterschiedliche LOG liefern unterschiedliche Auswertungsinformationen. Im Projektbeispiel wurde die Kostenschätzung auf Basis von Stückzahlen durchgeführt, weshalb die Bohrpfahlwand und die Spundwand im LOG 200 modelliert werden. Bei einer Ermittlung nach laufendem Meter Baugrubenwand oder nach Wandfläche ist ein LOG 100 jedoch ausreichend.

Die Kosten der Schleusenausrüstung kann in einer Kostenschätzung mit einer Pauschalsumme angegeben werden. Zudem schränkt eine Platzierung und Ausrichtung der Ausrüstung die Flexibilität des Variantenuntersuchungsmodells bei Änderungen ein. Demzufolge erfolgt die Darstellung der Schleusenausrüstung erst in der Entwurfsplanung.

Die Stückzahlen und die Massen werden anschließend in Bauteillisten ausgegeben und in einem Tabellenkalkulationsprogramm mit Erfahrungswerten einer Kostenschätzung kombiniert. Die Kostenschätzung ist somit nicht als durchgängiger Prozess zu sehen.

Ein BIM-Modell steigert nicht die Belastbarkeit oder die Genauigkeit der Kostenschätzung, denn die Eingangsinformationen der Planung bleiben auch bei Anwendung der BIM-Methode identisch. Analog zur automatisierten Planableitung kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Fehleranfälligkeit durch eine Mengenermittlung aus dem BIM-Modell verringert wird. Zusätzlich wird in einer modellgestützten Mengenermittlung eine immense Arbeitserleichterung gegenüber der händischen Ermittlung gesehen. Mit einem einfach gehaltenen BIM-Modell in der Vorplanung, können somit bereits die Vorteile von BIM genutzt werden.

### 5.3.7. AwF 12 – Terminplanung der Ausführung

Der Anwendungsfall Terminplanung der Ausführung wird durchgeführt, um den existierenden Terminplan der Machbarkeitsstudie nachzuvollziehen und im 3D-Modell zu visualisieren. In Zusammenspiel mit dem Anwendungsfall der Visualisierung können Bauablaufsimulationen erstellt und beispielsweise für die Öffentlichkeitsarbeit verwendet werden, sodass hier ein Synergieeffekt erkannt wird. Eine weitere Synergie wird aus der Verknüpfung der Mengenermittlung der Kostenschätzung zu den Bau- und Abbruchphasen erkannt.

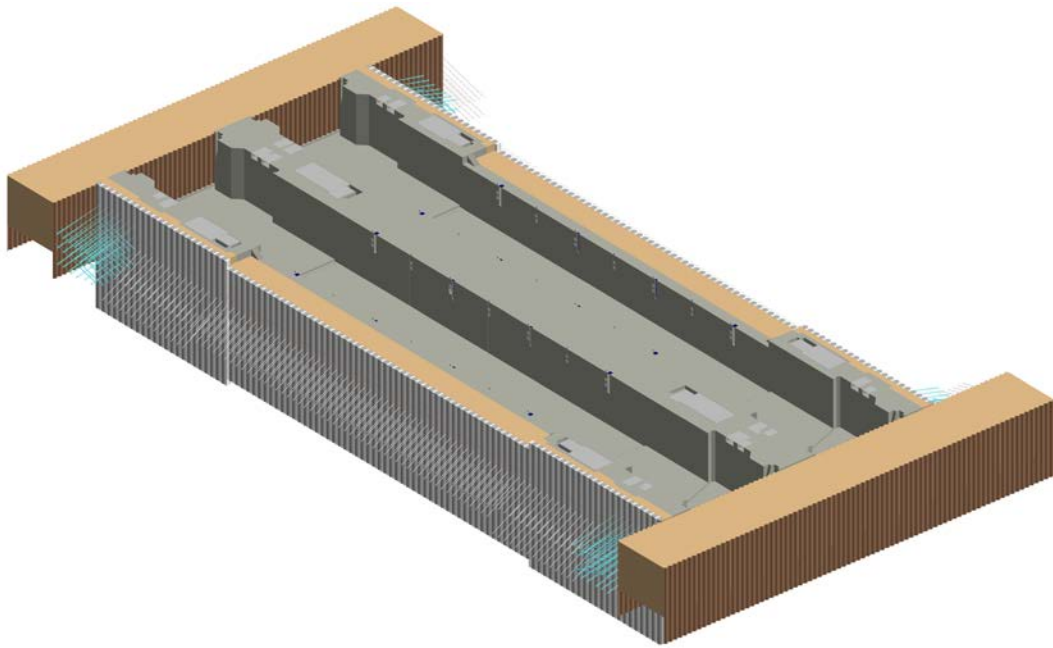
Die Terminplanung der Ausführung fordert zudem Vorüberlegungen bezüglich des Aufbaus der Bauteile und Bauteilgruppen, damit die Bauphasen in Form von Attributen dem entsprechenden Bauabschnitt zugeordnet werden können. Die Vorüberlegungen beziehen sich insbesondere auf massige Bauteile, wie beispielsweise auf die Unterwasserbetonsohle oder die Schleusenhäupter.

## 5.4. Bearbeitungstiefe und Auswertung hinsichtlich der bearbeiteten Anwendungsfälle in der Entwurfsplanung

Die bestehende Planungstiefe des Projektbeispiels entspricht einer Vorplanung. Die gewählten Anwendungsfälle der Entwurfsplanung können daher nicht in vollem Umfang bearbeitet werden, da zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch keine unterstützenden Planungsinformationen vorliegen. Das Modell der Entwurfsplanung wie in Abbildung 5.11 dargestellt, ist aus diesem Grund nicht als endgültige Version zu sehen. Die Anordnung der Schleusenausrüstung erfolgt exemplarisch und entspricht ebenfalls nicht der Realität.

Die nachfolgende Tabelle 5.3 zeigt die unterschiedlichen Level of Geometry des Modells der Vorzugsvariante 2. Die geometrische Detailtiefe der Bestandsbauwerke wird aus der Vorplanung übernommen.





**Abbildung 5.11:** Modell der Schleuse Kiel-Holtenau in der Entwurfsplanung

**Tabelle 5.3:** Level of Geometry der einzelnen Bauteile in der Entwurfsplanung

Bauteile / Bauteilgruppen	Vorzugsvariante 2 Rahmenkonstruktion
Bestandsmodell Schleusenhäupter	LOG 300
Bestandsmodell Kammerwand	LOG 200
Bestandsmodell Kammersohle	LOG 200
Massivbau Schleusenhäupter	LOG 300
Massivbau Kammerwand	LOG 200
Massivbau Kammersohle	LOG 200
Spundwand der Fangedämme	LOG 200
Bohrpfahlwand	LOG 200
Anker seitliche Kammerwände	LOG 200
Vertikalanker der rückverankerten UWB)	LOG 200
Spundwand zwischen Kammer und Häupter	LOG 300
Schleusenausrüstung	LOG 200

Es zeigt sich, dass die LOG-Struktur des Massivbaus, die exemplarisch am Unterhaupt in Tabelle 4.12 vorgestellt wird, auch für andere Massivbauelemente der Schleuse übernommen werden kann. In der Entwurfsplanung wird die Planung der Schleusenausrüstung vorgenommen. Aus diesem Grund wird das Level of Geometry der Kammerwand auf ein LOG 200 erhöht, um die Aussparungen für die Steigleitern darzustellen.

#### **5.4.1. Attribuierung in der Entwurfsplanung**

Die Attribuierung in der Entwurfsplanung wird spezifiziert, sofern dem Modellautor neue, belastbare Informationen vorliegen. Im Falle des Projektbeispiels können aus diesem Grund beispielsweise keine Angaben zur Materialspezifikation (z. B. C25/30) oder zur Expositionsklasse des Betons gemacht werden.

**Tabelle 5.4:** Attribuierung der Bauteile nach den Anwendungsfällen in der Entwurfsplanung

	Bohrpfahlwand	Spundwand	Anker	Massivbau (Neubau)	Schleusenausrüstung	Bestand
AwF 3	Material: Beton Primär-/Sekundärpfahl	Material: Stahl Profil	Material: Spannstahl Ankertyp	Material: Beton	Typ	Material: Mauerwerk
AwF 7	Klassifikation Material: Beton Ober-/Unterkante Durchmesser Primär-/Sekundärpfahl	Klassifikation Material: Stahl Materialspezifikation Ober-/Unterkante Profil	Klassifikation Ankertyp Material: Spannstahl Materialgüte Durchmesser Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstand Verpresskörperlänge	Klassifikation Material: Stahlbeton	Klassifikation Typ	Klassifikation Material: Mauerwerk Abbruchabschnitt
AwF 10	Klassifikation Material: Beton Bewehrungsgehalt Anzahl Durchmesser	Klassifikation Material: Stahl Materialspezifikation Profil Anzahl Korrosionsschutz Gewicht je Bohle	Klassifikation Material: Spannstahl Material: Verpresskörper Materialgüte Anzahl Ankertyp Durchmesser	Klassifikation Material: Beton Bewehrungsgehalt	Klassifikation Typ Anzahl	Klassifikation Material: Mauerwerk Bauwerkszustand
AwF 12	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Profil Verknüpfung	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Betonierabschnitt Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Material: Mauerwerk Bauwerkszustand Bauphase Verknüpfung

### 5.4.2. AwF 3 – Visualisierung in der Entwurfsplanung

Hinsichtlich der Visualisierung sind die wesentlichen Attribute der Bauteile oder Bauteilgruppen die Baustoff- bzw. Materialangaben und die Angabe zu Profilen. Die Darstellung des Ankertyps (dauerhaft oder temporär) wurde in dieser Arbeit nicht vorgenommen, kann aber beispielsweise farblich in der Visualisierung gekennzeichnet werden.

### 5.4.3. AwF 7 – Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen

Die Erstellung von Entwurfsplänen aus dem BIM-Modell erfordert zusätzliche Zeit für eine entsprechende Nachbearbeitung. Sofern die Pläne bereits Detailabbildungen enthalten, stellt sich die Frage, ob diese aus dem Modell abgeleitet oder traditionell in 2D gezeichnet werden.

### 5.4.4. AwF 10 – Kostenberechnung

Das LOG 300 der Bohrpfahlwand parametrisiert den Durchmesser sowie den Querschnitt der Pfähle und ermöglicht somit eine exakte Ermittlung der Stückzahlen. Mit der Attribuierung zu Primär- / Sekundärpfahl und mit dem abgeschätzten Bewehrungsgehalt, kann eine belastbare Kostenberechnung durchgeführt werden.

Die Unterteilung der Spundbohlen in ein LOG 300 und ein LOG 350 erweist sich als hilfreich, wenn genaue Abmessungen durch Profilwerte eine exakte Ermittlung der Anzahlen zulassen, aber mit Nichtberücksichtigung der Schlösser das Modell flexibel bleibt. Sollten bei der Kostenberechnung aufgeschweißte Abzweigeschlösser berücksichtigt werden, müssen die Spundbohlen im LOG 350 modelliert werden.

Die Planung der Schleusenausrüstung ist der Teil der Entwurfsplanung. Der geringe Planungsstand lässt keine Abschätzung der Typenbezeichnung der weiteren Schleusenausrüstung zu. Mit dem LOG 200 kann jedoch die Art des Ausrüstungselements bestimmt werden, ohne Festlegungen zum Typ zu treffen. Dem Ausrüstungselement ist in diesem Fall ein entsprechendes Verlässlichkeitsattribut zuzuweisen, um zu signalisieren, dass der endgültige Planungsstand noch nicht erreicht ist und Änderungen zu erwarten sind.

Die Kostenberechnung stellt keinen durchgängigen Prozess dar. Vielmehr wurde das Modell zur Unterstützung der Mengenermittlung verwendet und fehlende Details ergänzt.

## 5.5. Ein Ausblick auf die Genehmigungsplanung

Die Reihenfolge, nach der die Leistungsphasen der HOAI durchschritten werden, ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Teilweise wird die LPH 4 bereits vor oder parallel zur LPH 3 ausgeführt, um beispielsweise dem zeitaufwendigen Prozess der Planfeststellung bei öffentlichen Bauvorhaben entgegenzuwirken. In dem beschriebenen Beispiel hat dies direkte Auswirkungen

auf das BIM-Modell, so dass in etwa die Attributbestimmung stets projektspezifisch erfolgen muss und die vorgestellte Attribut-Tabelle nicht den Charakter einer endgültigen Lösung hat.

Der Anwendungsfall der Visualisierung wird als hilfreiche Unterstützung in der Genehmigungsplanung angesehen. Unter anderem können für eine Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zusätzliche Attribute hinsichtlich der zu erwartenden Emissionen bestimmt und damit eine entsprechende Visualisierung des Bauablaufs vorgenommen werden.

## 5.6. Ein Ausblick auf die Ausführungsplanung

Innerhalb der Ausführungsplanung wird vermehrt mit Modellelementen im LOG 400 modelliert, um den erhöhten Anforderungen an eine detailgetreue Nachbildung der Leistungsphase gerecht zu werden. Es wurde jedoch im Laufe der Projektbearbeitung mit *Revit* festgestellt, dass Informationen, die über Attribute verfügbar sind, besser verarbeitet werden können, als Informationen, die über die geometrischen Eigenschaften des Modellelements gesteuert werden. Bei komplexeren Geometrien wie beispielsweise der Kopfausbildung der Anker (siehe Tabelle 4.8), wurden zudem deutlich längere Rechenzeiten der Hardware beobachtet. In Voraussicht auf die Ableitung von Ausführungsplänen und Detailzeichnungen aus dem 3D-Modell muss beachtet werden, dass die Erstellung eines individuellen Details in 3D nicht immer eine erhöhte Effizienz bei der Planableitung bedeutet. In diesem Fall steht dem größeren Mehraufwand aus dem Modellierungsprozess der gleiche Nutzen gegenüber.

Die Vorgabe des *Leistungsniveaus 1* aus dem *Stufenplan* des BMVI (2015a), jegliche 2D-Pläne aus dem 3D-Modell abzuleiten, gilt es aus den genannten Gründen zu spezifizieren. Eine Mischform aus traditionell erstellten 2D-Plänen und aus dem 3D-Modell abgeleitete Pläne kann daher eine geeignete Lösung darstellen. Mit Hilfe eines entsprechenden Attributs kann auf die zugehörige Detailzeichnung des Modellelements verwiesen werden.

## 6. Fazit

Der *Stufenplan* wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur entwickelt und beschreibt die stufenweise Einführung von Building Information Modeling in öffentlichen, infrastrukturbezogenen Bauprojekten im Zuständigkeitsbereich des BMVI in Deutschland bis zum Jahr 2020. Darin ebenfalls enthalten sind Schleusenprojekte an Bundeswasserstraßen. Die Implementierung der BIM-Methode steht im Verkehrswasserbau allerdings noch am Anfang. Die vorliegende Arbeit vergleicht bestehende Konzepte zur Beschreibung von geometrischen und semantischen Modellinhalten für BIM-Modelle und stellt anschließend die Entwicklung eines eigenen Konzepts für die Leistungsphasen 1 bis 7 der HOAI für die Objektplanung von Schleusenbauprojekten vor. In einem Praxisbeispiel werden verschiedene BIM-Anwendungsfälle der Planung bearbeitet, um die Praxistauglichkeit des Konzepts zu bewerten.

### 6.1. Fazit zu den theoretischen Grundlagen

Die vorgestellte Standardisierung im Schleusenbau seitens der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) wurde zu Beginn der Arbeit als vielversprechende Unterstützung erwartet. Die Erwartungen wurden jedoch nicht erfüllt, da die standardisierten Elemente im Wesentlichen bei Binnenschleusen zum Einsatz kommen. Die Standardisierung kommt somit im Projektbeispiel praktisch nicht zur Anwendung, da eine Seeschleuse modelliert wurde. Zudem lag der Fokus der vorliegenden Arbeit auf Bauteile, die nach der BAW zu planen und bemessen sind. Hinweise zur zeichnerischen Darstellung und der Planableitung sind in diesem Zusammenhang nicht gegeben. Mini (2016) bestimmt die Anforderungen an die Planableitung und die zugehörigen Attribute nach den *Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING)*. Richtlinien und Regelwerke erleichtern die Bestimmung von Attributen und den Anforderungen an das jeweilige Level of Geometry und unterstützen beispielsweise den AwF 7 Erstellung von Entwürfs und Genehmigungsplänen. Die ursprüngliche Intention, Planungsprozesse zu beschleunigen und Kosten für Entwicklung, Bau und Unterhaltung zu minimieren, sollte verstärkt auf die BIM-Methode ausgelegt werden. Standardisierte Lösungen können in Bauteilkatalogen aufgenommen werden und unterstützen dadurch den gesamten Modellierungsprozess.

Die Zustandsfeststellung der Schleusen in Deutschland offenbart die Präsenz des Themas. Im Hinblick auf den Stufenplan, der ab 2020 die Anwendung der BIM-Methode für alle Projekte im Verkehrswasserbau fordert, ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf. Vor diesem Hintergrund wird auch das Einbeziehen der Bestandserfassung als bedeutsamer Punkt bei der Beschreibung von Modellinhalten gesehen. In Zukunft werden Schleusen mit hoher Wahrscheinlichkeit in unmittelbarer Nähe zu bestehenden Schleusen entstehen, wie auch die zwei BIM-Pilotprojekte der WSV oder das eigene Projektbeispiel zeigen.

Es hat sich bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung gezeigt, dass die Anwendungsfälle von *BIM4INFRA* bei der Erstellung von Konzepten unbedingt berücksichtigt werden müssen, da sie einen entscheidenden Einfluss auf die geometrischen und semantischen Modellinhalte haben. In der Arbeit wurde sich auf ausgewählte Anwendungsfälle der Objektplanung beschränkt. Anwendungsfälle aus dem Bereich der Bauausführung oder des Betriebs, sowie Anwendungsfälle deren Durchführbarkeit zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gegeben sind, konnten für das eigene Konzept nicht berücksichtigt werden. Zukünftige Konzepte sollten daher vor allem auch die angesprochenen Bereiche einbeziehen, da beispielsweise im späteren Betrieb ein großes Potenzial der BIM-gestützten Methoden gesehen wird, der dafür notwendige Detaillierungsgrad im Verkehrswegebau jedoch noch unbekannt ist.

Als Klassifikationssystem wurde der *Objektkatalog* gemäß der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ausgewählt. Der *Objektkatalog* liefert entscheidende Hinweise hinsichtlich der benötigten Klassifikations-Attribute und ist aufgrund des für Maschinen lesbaren Objektschlüssels als Grundlage für die Objektidentifizierung innerhalb einer BIM-Anwendung geeignet.

## 6.2. Fazit zum aktuellen Forschungsstand

Die Basis für das eigene Konzepte ist die *BIMForum* LOD-Spezifikation, da sie große Anerkennung in der Fachwelt genießt. Bei der Studie bestehender Konzepte, die ebenfalls auf der LOD-Spezifikation basieren, wurde erkannt, dass mit einem Eingriff in die Referenzstruktur des *BIMForums* eine ähnlich große Verwirrung der Anwender zu erwarten ist, wie mit der Einführung neuer Begriffe und Abkürzungen für die Definition des Modellinhalts. Daher wird empfohlen, die Struktur des *BIMForums* zu übernehmen, oder sich auf andere Spezifikationen zu beziehen. Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine weiterführende Detaillierung des LOG 100 zu einem positiven Effekt der Aufwand-Nutzen-Relation führt. Dem geringem Mehraufwand bei der Modellierung steht die Möglichkeit gegenüber, mit dem LOG 100 und entsprechender Attribuierung bereits erste Anwendungsfälle bearbeiten zu können.

Aus der Literatursichtung ergaben sich verschiedene Ansätze zur geometrischen Definition, die auf die Zuordnung der Level of Geometry zu den Leistungsphasen zurückzuführen ist. Die

angesprochenen bereichsmodellbezogenen und fachmodellbezogenen Ansätze werden jedoch als zu generisch angesehen. Besonders die Definitionen der LOG 300–400 lassen eindeutige Modellierungsvorgaben für Bauteile vermissen und die Frage wie genau und was modelliert werden soll kann nicht beantwortet werden. Gleichzeitig wurde jedoch auch festgestellt, dass der bauteilbezogene Ansatz nicht geeignet ist, wenn aufgrund hoher geometrischer Variationsmöglichkeiten und geringen Wiederholungsraten von Bauteilen, es nicht sinnvoll erscheint jedes Bauteil singulär zu beschreiben. Hiervon angesprochen werden Elemente des Massivbaus und die Modellierung des Bestands.

Die Zuordnung der Level of Geometry zu den Leistungsphasen wird kritisch gesehen, da dadurch sogenannte LOD-###-Modelle entstehen, die Modelle mit vorgegebenen und einheitlichen Modellierungsgrad beschreiben. Durch diese Art von strikten Vorgaben kann nicht kontrolliert werden, welche Informationen ins Modell gelangen und der Leitsatz: „es wird nur so genau modelliert wie nötig“ kann nicht eingehalten werden. Innerhalb dieser Thematik ließ die Literaturrecherche Uneinigkeiten hervortreten. Resultierend aus den eigenen Erkenntnissen wird ein flexibler Umgang mit der Zuordnung der Detaillierungstiefen der Modellelemente innerhalb der Leistungsphasen empfohlen, da der notwendige Detaillierungsgrad von den zu bearbeitenden Anwendungsfällen und den Projektspezifikationen abzuleiten ist.

Die semantischen Informationen wurden als Bereich identifiziert, der im Allgemeinen in einer Diskussion um BIM-Methoden vernachlässigt wird, jedoch Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung darstellt. Es wurde erkannt, dass eine sinnvolle Abstufung der Attribute analog zu der Abstufung der Level of Geometry zumindest in der Planungsphase nicht erfolgen kann. Ohne präzise Formulierung der Anforderungen ist mit einer Überladung des Modells mit nicht benötigten Attributen zu rechnen. Aus dem angesprochenen Grund wird auf eine Verwendung des Begriffs Level of Information verzichtet, da dadurch eine Abstufung analog zu den Level of Geometry suggeriert wird.

Im letzten Punkt der vorgenommenen Diskussion wird die eindeutige Abgrenzung der Begriffe des Level of Development und des Level of Geometry erörtert, da die Sichtung der Literatur immer noch unterschiedliche Interpretationsweisen erkennen lässt. Die Bezeichnung des geometrischen Detaillierungsgrades als Level of Geometry wird gewählt um eine Unterscheidung zum Level of Detail zu erzielen, da aufgrund der identischen Akronyme eine Verwechslungsgefahr mit dem Level of Development besteht. Mit der Verwendung des Ausdrucks nach Hausknecht & Liebich (2016) als  $LOD = LOG + LOI$  und der nicht Abstufung der Level of Information wird das LOG mit dem LOD gleichgesetzt. Jedoch beschreibt das Level of Geometry den steigenden Informationsgehalt eines Modellelements, während das LOD Informationen über die Verlässlichkeit übermittelt.

Aufgrund dessen wird erwartet, dass solange beide Begriffe existieren (LOD und LOG) Verwechslungen und damit missverständliche Informationsweitergabe nicht auszuschließen sind. Der Begriff des Level of Development wird daher nicht verwendet und der Aspekt der Ver-



lässlichkeit mit einem entsprechenden Attribut aufgegriffen, um dem Modellempfänger oder der Auswertungssoftware zu signalisieren, wie verlässlich das betrachtete Modellelement hinsichtlich seiner geometrischen und semantischen Informationen modelliert wurde. In diesem Zusammenhang wird es in Zukunft entscheidend sein, wie entsprechende Auswertungssoftware mit unterschiedlichen Verlässlichkeitsgraden der Modellelemente umgehen.

## 6.3. Fazit zur Entwicklung des eigenen Konzepts

Der Ansatz aus dem Positionspapier des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017), Bauteile in den LOG 100 und 200 zu Bauteilgruppen zusammenzufassen und erst im LOG 300 singular zu beschreiben, ergab sich als vorteilhaft, da somit bereits in der Vorplanung ein flexibles Modell mit geringem Modellierungsaufwand erstellt werden konnte. Der Prozess zur Erstellung von bauteilbezogenen Definitionen erfordert mehr Aufwand als die Erstellung übergeordneter Konzepte. Die Arbeit zahlt sich jedoch bei der späteren Projektbearbeitung aus, wenn das Modell als modulares Baukastensystem aufgebaut werden kann. Eine unterstützende Standardisierung und die Erstellung von parametrisierten Bauteilfamilien beschleunigt die Modellerstellung erheblich.

Die Frage mit der sich die Arbeit im Rahmen der semantischen Objekteigenschaften beschäftigt ist, mit welchen Faktoren die minimale Anzahl an Attributen bestimmt werden kann. Das dafür entwickelte Tabellenschema ist ebenfalls auf Bauteile ausgerichtet und ermittelt die Attribute aus der Querverbindung von Anwendungsfällen und Leistungsphasen. Vor diesem Hintergrund muss beachtet werden, dass die Anwendungsfälle auch innerhalb einer Leistungsphase unterschiedliche Ausprägungen besitzen und daher stets projektabhängig spezifiziert in einer AIA festzulegen sind. Die Mindestanzahl an Attributen wurde als Kennzahl zur Bestimmung des zu erwartenden Arbeitsumfangs des Modellautors identifiziert. Zudem wird so vermieden, dass Informationen veröffentlicht werden, die zum betrachteten Projektzeitpunkt noch unter Verschluss zu halten sind oder über den Planungsstand hinausgehen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass keine Leistungsphasen parallel oder vorgezogen durchschritten werden. Ist dies der Fall, muss die Attribut-Tabelle entsprechend abgeändert werden.

Im Hinblick auf die eigens entwickelte Attribut-Tabelle wurde festgestellt, dass deren Anwendbarkeit in höheren Projektphasen durch den konsistenten Aufbau – alle Attribute der vorherigen Leistungsphase werden in die folgende Leistungsphase übernommen – hinterfragt werden muss. In Hinblick auf eine automatische und softwaregestützte Komplettierung des BIM-Modells mittels Attribut-Tabellen, muss der Aufbau womöglich zusätzlich überdacht werden. Ein entscheidender Vorteil ist jedoch, dass die erforderlichen Attribute je Anwendungsfall in der entsprechenden Leistungsphase und für jedes Bauteil auf einen Blick abrufbar sind.

## 6.4. Fazit zur Durchführung des Projektbeispiels

Die Bearbeitung des Praxisbeispiels zeigt, dass trotz getrennter Ermittlung der semantischen und geometrischen Informationen, diese unweigerlich in Verbindung stehen. Es stellt sich teilweise die Frage, ob beispielsweise die Oberflächenneigung großer Massivbauelemente wie der Kammerwand als Attribut angehängt oder im 3D-Modell abgebildet wird. Ein ähnliches Problem eröffnet sich mit dem Umgang von Auswertungsinformationen. Je nach verwendeter BIM-fähiger Software, werden Auswertungsinformationen von der Software selbst ausgegeben, oder müssen händisch ermittelt werden. Demzufolge stellt sich die Frage, ob Auswertungsinformationen, die per Definition nicht vom Modellersteller im Modell hinterlegt werden müssen, in den Attribut-Tabellen aufgenommen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit kann nicht abschließend geklärt werden, ob die detailgetreue Nachbildung in jedem Detail das Ziel einer 3D-Modellierung ist. Standardanschlüsse und Details können ebenfalls in 2D-Plänen dargestellt werden. Die Vorzüge einer Anwendung der BIM-Methode einer vernetzten Arbeitsweise, der Verknüpfung des Modells mit Kosten und Terminen, automatisierte Mengenermittlung und Planableitung und das zuerst-planen-dann-bauen-Prinzip lassen sich auch ohne detailgetreue Darstellungen im digitalen Modell nutzen.

Mit der Bearbeitung des Projektbeispiels kann keine abschließende Bewertung der Praxistauglichkeit des entwickelten Konzepts getroffen werden. Bei der Auswahl des Projekts für die vorliegende Arbeit, gab es noch keine offiziellen BIM-Pilotprojekte im Verkehrswasserbau, deren Planungsstand weiter fortgeschritten war. Daher erfolgte die Wahl für das interne BIM-Pilotprojekt „Grundinstandsetzung der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenuau“, da hier bereits erste Ergebnisse vorlagen, auf denen die Arbeit aufgebaut werden konnte. Grundsätzlich liegen die Planungszeiten für Schleusen bei fünf bis zehn oder auch mehr Jahren, bis es zur Bauausführung kommt. Daher werden für die späteren Leistungsphasen konkrete Ergebnisse für Verkehrswasserbauten in Bezug auf BIM auch erst in einigen Jahre zu erwarten sein.

BIM steht für die Digitalisierung der Baubranche, doch im konstruktiven Wasserbau vor allem auch für Zukunft. Ein Konzept zur Beschreibung von Modellinhalten hilft die BIM-Methode schrittweise einzuführen. Die übergeordnete Frage der Arbeit, ob sich die Erstellung eines BIM-Modells in frühen Leistungsphasen überhaupt lohnt kann eindeutig mit: Ja, es lohnt sich – sowohl für die Bauherren als auch für die beteiligten Planer – beantwortet werden.

## 7. Ausblick

Wie die Literaturrecherche dieser Arbeit verdeutlicht, besteht trotz regem Forschungsinteresse in den vergangenen drei Jahren innerhalb der LOD-Thematik eine Divergenz in den Interpretationen. Aus diesem Grund ist zuerst eine einheitliche Definition der Begrifflichkeiten zur Beschreibung des Modellinhalts erforderlich, damit zukünftig die Projektpartner eines Bauvorhabens mit einer einheitlichen Kommunikationsgrundlage arbeiten können.

Die Attribut-Tabellen und die Level of Geometry sind auf Anwendungsfälle der Bauausführung und des späteren Betriebs einer Schleuse auszuweiten, um das gesamte Potenzial von BIM über den kompletten Lebenszyklus eines Bauwerks auszuschöpfen. Ein Beispiel wird in den geometrischen Details eines digitalen Modells gesehen, dessen Nutzen auf den Betrieb ausgelegt ist. Welche Details werden aus dem Modell der Bauausführung übernommen und welche Details sind für die Wartung und Inspektion von Schleusen ohne Relevanz? Zusätzlich ist die Tragwerksplanung in die weitere Betrachtung miteinzubeziehen, da in der vorliegenden Arbeit der Fokus lediglich auf die Objektplanung gelegt wurde. Für die Umsetzung sind weitere Pilotprojekte im Bereich des Wasserbaus erforderlich, deren Durchführung auch spätere Leistungsphasen beinhaltet.

In der Bearbeitung des Praxisbeispiels wurde festgestellt, dass Synergien zwischen einzelnen Anwendungsfällen bestehen. Die Nutzung von Synergien lässt eine Optimierung des Einsatz der BIM-Methode zu. Sofern ein erhöhter Modellierungsaufwand durch die Bearbeitung eines zusätzlich beauftragten Anwendungsfalls besteht, gilt abzuwägen, ob Synergieeffekte den zusätzlichen Aufwand mindern. Mit Sicht auf bevorstehende Projekte gilt es daher eine intelligente Kombination von Anwendungsfällen auszuarbeiten. In zukünftigen Forschungsvorhaben könnte dieser Aspekt weiter vertieft werden.

Eine Frage, die sich bereichsübergreifend an zukünftige Konzepte richtet, ist wie die erstellten Modelle auf die LOG-Vorgaben aus einer Auftraggeber-Informationsanforderung oder einem Anwendungsfall untersucht werden können. Die Frage zielt auf Planungsbüros ab, die vor Auslieferung ihres erstellten Modells eine automatisierte Modellprüfung vornehmen, um die Einhaltung der geforderten Geometrie und Semantik zu kontrollieren. Für die Auftraggeberseite wird die Prüfung eines empfangenen Modells ebenfalls als hilfreiche Unterstützung gesehen. Die Prüfung des Wertebereichs von Attributen ist in einem Modell zur heutigen Zeit

mit entsprechender Software bereits möglich, erfordert aber eine eindeutige Zuweisung der Attribute. Dafür bieten sogenannte Model Checker diverse Schnittstellen, um derartige Regeln zu definieren. Die Regeln sind entsprechend auf die geometrische Detaillierung auszuweiten. Zukünftige Konzepte könnten diesen Gedanken auffassen, indem bestimmte Auswertungsinformationen gefordert werden, die anschließend hinsichtlich ihres Wertebereichs geprüft werden. Dafür müssten die Level of Geometry explizit auf die Erstellung der geforderten Auswertungsinformationen hinweisen.

Aufgrund der langen Planungsphasen im Schleusenbau wird empfohlen den Fokus in zukünftigen Forschungsvorhaben auf einzelne Leistungsphasen zu legen, damit das entwickelte Konzept hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit tiefergehend untersucht werden kann. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Bestrebungen zur Implementierung von BIM im konstruktiven Wasserbau in den nächsten Jahren deutlich verstärkt werden müssen, um eine erfolgreiche Anwendung im konstruktiven Wasserbau bis zum Ende des Jahres 2020 gewährleisten zu können.

# A. Detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle nach BIM4INFRA

<b>AwF 1</b>	<b>Bestandserfassung</b>
Kurzbeschreibung	Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestandes und Überführung in eine 3D-Ansicht durch ein geeignetes Aufmaß. Eingangsdaten können aus bestehenden Unterlagen, Vermessungen, Laserscanning, Photogrammetrie, Geographischen Informationssystemen oder einer Kombination daraus entnommen werden.
Detaillierung	Entsprechend der Projektanforderung werden erforderliche Daten zur Bestandsaufnahme definiert und die geometrisch notwendige Information aufgenommen. Anhand der Eingangsdaten wird ein BIM-Modell unter Einsatz referenzierter Daten erstellt. Dieses BIM-Modell wird unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Aspekte idealisiert konstruiert und ggf. Bauteilverformungen sowie Bautoleranzen berücksichtigt. Hierdurch wird ein strukturiertes Modell mit semantischen Informationen aufgebaut, das eine hochwertige Informationsbasis für den weiteren Projektverlauf bildet. Die hierbei erstellten 3D-Modelle werden in der Regel zunächst eher vereinfacht modelliert. Im weiteren Projektverlauf kann sich in Teilbereichen ggf. eine Anforderung an eine höhere Genauigkeit stellen. Das Modell kann demzufolge noch weiter detailliert werden.

AwF 1	Bestandserfassung
Nutzen	Der AwF wird in der Planungsphase verwendet, um in der Planung den Projektkontext nachvollziehbar zu referenzieren und Risiken der Bauausführung zu reduzieren. Das 3D-Bestandsmodell und die enthaltene Information können vom AG genutzt werden, um Entscheidungsprozesse im Projektverlauf zu unterstützen. Die strukturierte Aufnahme und Dokumentation vorhandener Bestandsobjekte ermöglicht auch die Wiederverwendung oder Fortschreibung von Daten. Die durchgängige Nutzung von BIM kann zukünftig die Kosten für eine erneute Bestandserfassung für bereits erfasste Bauwerke senken.
Status Quo	Die Modellerstellung auf Basis der o.g. Daten ist technisch bereits heute machbar und wird in vielen BIM-Projekten umgesetzt.
Implementierungs-aufwand	Für den AG ergibt sich die Notwendigkeit, eine Spezifikation zum erforderlichen Inhalt, der Struktur und dem Umfang der 3D-Bestandsmodelle zu erstellen. Hierbei sollten geltende Vorgaben zur Erfassung von Bestandsbauwerken und ggf. deren Umgebung, insbesondere in Hinblick auf zu erfassende Materialien oder weitere Eigenschaften berücksichtigt werden, um den anvisierten Nutzen erbringen zu können. Der Schulungsaufwand für die Anwendung von Werkzeugen zur Betrachtung und Prüfung der 3D-Bestandsmodelle wird als gering eingeschätzt. AN müssen sich Kenntnisse und Techniken zur Überführung von erfassten Daten und zur Erstellung des Bestandsmodells aneignen. Ggf. ist die Anschaffung von BIM-fähigen Softwareprodukten erforderlich.
Mehr- und Minderaufwände in der Projektbearbeitung	Für die Projektbeteiligten ändert sich die Darstellung des Bestandes und relevanter Bauteilinformation von einer 2D-Darstellung in ein strukturiertes 3D-Bestandsmodell. Die grundsätzliche Anforderung einer Aufnahme der bestehenden Baufeld- und Umgebungsinformationen ändert sich durch den Einsatz der BIM-Methode nicht. Die Erstellung von 3D-Bestandsmodellen bedeutet an sich ggf. einen höheren Aufwand, der projektspezifisch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit bewertet werden muss.

---

<b>AwF 2</b>	<b>Planungsvariantenuntersuchung</b>
Kurzbeschreibung	Planungsvarianten werden als BIM-Modell erstellt und hinsichtlich Kosten, Terminen bzw. Qualität bewertet.
Detaillierung	Planungsvarianten können mit BIM in der Regel schneller erstellt und sogar mit groben Kostenschätzungen versehen werden. Variantenvergleiche werden in Lph2 der HOAI für Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen gefordert. Entsprechend werden planungsphasengerecht detaillierte 3D-Modelle erstellt, die mit BIM-Methoden für den Vergleich der erstellten Varianten genutzt werden. Die zeichnerische Darstellung der Varianten auf Plänen erfolgt durch eine BIM-basierte Planerstellung. Die Nutzung der Modelle für einfache, nichtfotorealistische Visualisierungen ist möglich. Die erforderlichen Mengengerüste für die Kostenschätzungen werden transparent durch eine BIM-basierte Mengenermittlung extrahiert und können zur Plausibilisierung genutzt werden. Die Anforderungen an diese BIM-Modelle in Lph2 sollten gering ausfallen, gleichzeitig eine spätere Detaillierung im Entwurf ermöglichen.
Nutzen	Die einheitliche und transparente Erstellung und Bewertung der Planungsvarianten stellt eine gegenüber der konventionellen Arbeitsweise deutlich verbesserte Entscheidungsgrundlage für den AG dar. Vor allem in der durchgängigen Erstellung von Planungsunterlagen und der Ableitung von Mengen und Kosten aus einem BIM-Modell liegt ein entscheidender Qualitätsvorteil. Es ist davon auszugehen, dass auch das Raumordnungsverfahren durch die BIM-Variantenvergleiche sowie die Visualisierung (siehe AwF 3) erleichtert wird, wenn die dafür relevanten Attribute abgebildet werden.
Status Quo	Bereits heute gibt es bei Einsatz geeigneter Software die Möglichkeit der Variantenuntersuchung von Strecken und Ingenieurbauwerken. Dieser Anwendungsfall wird in den Pilotvorhaben bereits häufig durchgeführt.
Implementierungsaufwand	Der Implementierungsaufwand ist gering. Der AG-seitige Schulungsaufwand für die Nutzung von Werkzeugen zur Betrachtung der BIM-Modelle wird als gering eingeschätzt. AN müssen sich Kenntnisse und Techniken aneignen.

**AwF 2****Planungsvariantenuntersuchung**

Mehr- und Min-  
deraufwände in  
der Projektbear-  
beitung

Unter der Maßgabe, dass die Detaillierung der geforderten Leistung identisch mit den aktuellen Anforderungen bleibt, ist davon auszugehen, dass Mehraufwände nicht entstehen. Die BIM-gestützte Planvariantenuntersuchung wird nur dann Mehraufwand für die Projektbeteiligten bedeuten, wenn sich hierbei die grundlegenden Anforderungen verändern. In diesem Fall ergibt sich aber auch ein erhöhter Nutzen durch vertiefte Variantenuntersuchungen. Für den AG ergeben sich keine Änderungen.



AwF 3	Visualisierung
Kurzbeschreibung	Bedarfsgerechte Visualisierung auf Grundlage des BIM-Modells als Basis für Projektbesprechungen im Zuge der Planung und der Ausführung sowie für die Öffentlichkeitsarbeit.
Detaillierung	Auf Basis von BIM-Modellen werden mithilfe geeigneter Softwareprodukte Visualisierungen in Form von Bildern und/oder Filmen erstellt. Dies kann auch einfache Animationen und interaktive Visualisierungen beinhalten. BIM-Modelle aus dem Planungsprozess können direkt für einfache Visualisierungen übernommen werden. Voraussetzung für die Erstellung von fotorealistischen Visualisierungen sind spezielle Softwareprodukte und Fachwissen auf Auftragnehmerseite. In diesem Fall ist ein Zusatzaufwand für die Definition von Materialien und Beleuchtungsquellen erforderlich, die auch die Anpassung vorhandener Modelle einschließen können. Der Einsatz von Visualisierungen kann bei allen Bauwerkstypen und Komplexitätsgraden erfolgen.
Nutzen	Visualisierungen unterstützen die Entscheidungsfindung durch die verständliche Darstellung komplexer Zusammenhänge in geometrischer und visueller Form. Ein ganz wesentlicher Nutzen liegt im Einsatz von Visualisierungen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Visualisierungen unterstützen die verständliche Kommunikation der Bauaufgabe und können die Akzeptanz von Vorhaben erhöhen.
Status Quo	Die BIM-gestützte Visualisierung ist bereits heute aus technischer und organisatorischer Sicht ohne Probleme realisierbar und wird bereits in vielen BIM-Projekten eingesetzt.
Implementierungsaufwand	Der Implementierungsaufwand für AN ist gering, sofern es sich um einfache Visualisierungen handelt, die sich direkt mit einem BIM-Werkzeug erstellen lassen. Für die Erstellung fotorealistischer Visualisierungen ist ggf. die Anschaffung von Spezialsoftware erforderlich. AG-seitig sind keine speziellen Kenntnisse oder Softwarepakete erforderlich.

**AwF 3      Visualisierung**

Mehr- und Min-  
deraufwände in  
der Projektbear-  
beitung

Der Zusatzaufwand in der Projektbearbeitung ist als vernachlässigbar gering einzuschätzen. Im Gegenteil ist der Aufwand zur Erstellung von Visualisierungen geringer als bei der konventionellen Arbeitsweise, da hier meist gesonderte Modelle ohne Planungsrelevanz erstellt werden. Davon unbenommen bleibt, dass im Falle fotorealistischer Visualisierungen Zusatzaufwände zur Definition von Oberflächen und Beleuchtungsquellen erforderlich wären. Der AG muss an dieser Stelle sorgfältig zwischen Aufwand und Nutzen abwägen.

<b>AwF 5</b>	<b>Koordination der Fachgewerke</b>
Kurzbeschreibung	Regelmäßiges Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell, mit anschließender automatisierter Kollisionsprüfung und systematischer Konfliktbehebung.
Detaillierung	Die Koordination der Fachgewerke erfolgt auf Basis der Modelle der einzelnen Fachplaner. Der Datenaustausch der BIM-Modelle für die Koordination soll möglichst mithilfe einer gemeinsamen Datenumgebung realisiert werden, die eine formalisierte Zuweisung von Status und Statusübergängen umsetzt. Für die Beteiligten sind für den Datenaustausch vor allem Anforderungen in Bezug auf Modellinhalte, -einheiten und Koordinaten festzulegen, um die Konsolidierung aller 3D-Modelle zum Koordinationsmodell zu ermöglichen. Es ist unbedingt zu beachten, eine kontinuierliche Planungsdetailierung und die phasengerechte Analyse und Bewertung der Konflikte zu vereinbaren.
Nutzen	Die Koordination der Fachgewerke und die Konfliktbehebung im Planungsprozess verbessert die Planungsqualität und verringert signifikant die Risiken in Bezug auf Kosten und Termine.
Status Quo	Dieser Anwendungsfall ist aus technischer Sicht bereits heute gut handhabbar und wird bereits in vielen BIM-Projekten umgesetzt.
Implementierungsaufwand	Der Implementierungsaufwand ist gering. AN müssen sich Kenntnisse und Techniken zur BIM-gestützten Koordination aneignen. Die notwendige Software ist zu geringen Kosten verfügbar. Der wesentliche Implementierungsaufwand liegt in der Definition von Prozessen zur formalen Behandlung von Konflikten. Auf AG-Seite entsteht nur dann Implementierungsaufwand, sofern er eigene Kollisionskontrollen durchführen will.
Mehr- und Minderaufwände in der Projektbearbeitung	BIM bietet deutlich bessere und mehr Möglichkeiten um die Koordination der Fachgewerke durchzuführen. Probleme, die heute bei der konventionellen Planung oft auch aufgrund der Planungsmethode in der Koordination auftreten, können durch BIM-gestützte Planung vermieden werden. Ein Beispiel ist die Kollision von Fundamenten (für Schutzeinrichtungen, Beschilderung) mit der Entwässerung. Durch die frühzeitige Identifizierung und Verhinderung von Kollisionen können vermeidbare Folgeaufwendungen und -kosten im Gesamtplanungsprozess vermieden werden. Insgesamt kann damit für das Gesamtbauvorhaben eine Reduktion des Aufwandes erreicht werden.

---

<b>AwF 7</b>	<b>Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen</b>
Kurzbeschreibung	Ableitung der wesentlichen Teile der Entwurfs- und Genehmigungspläne bis zu einem festzulegenden Maßstab aus dem Modell.
Detaillierung	Für die Planerstellung werden im 3D-Modell Projektionen erstellt, die in einer 2D-Ansicht der Planungssoftware z.B. für einen Grundrissplan oder einen Schnitt genutzt werden. Diese Ansichten werden dann mit 2D-Informationen wie Maßketten oder Beschreibungen sowie Plankopf und Planrahmen ergänzt und als Zeichnung gespeichert. In diesem Prozess sollten ausreichend viele Planungsdetails im BIM-Modell hinterlegt werden, um auf diese bei der Planerstellung zurückgreifen zu können. Dies wird analog zur herkömmlichen 2D-Planung umgesetzt, bei der textuelle und symbolische Ergänzungen auf dem Plan manuell eingefügt werden. Details (insbesondere Standarddetails) können aus Effizienzgründen weiterhin als 2D-Zeichnung erstellt werden, sodass das BIM-Modell insgesamt in einem zweckmäßigen Detaillierungsgrad ausgearbeitet wird. Hintergrund ist, dass der Aufwand, ein Detail an allen Stellen in 3D zu modellieren, angesichts des überschaubaren Nutzens zu groß ist. Genaue Festlegungen, welche Bauteile wie detailliert modelliert werden, müssen im Projekt getroffen werden. Dies hängt besonders auch von der Bedeutung für die Korrektheit der Kostenschätzung ab. Die geometrische Kompatibilität von Detailzeichnungen und BIM-Modell ist in jedem Fall sicherzustellen.
Nutzen	Die Ableitung der Planunterlagen aus BIM-Modellen verringert den Koordinations- und Erstellungsaufwand für die Erstellung von Schnitten und Ansichten bei verbesserter Qualität, da die Konsistenz durch Nutzung einer einheitlichen Quelle gesichert ist.
Status Quo	Das Ableiten der Entwurfs- und Genehmigungspläne aus dem Modell ist bereits zum jetzigen Zeitpunkt i.d.R. gut möglich und wird in nahezu allen BIM-Projekten umgesetzt. Bei einer komplexeren Geometrie kommt es mitunter noch zu Problemen in der Zeichnungsgenerierung, die aber bis 2020 überwunden sein sollten.

**AwF 7 Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen**

Implementierungs-  
aufwand

Die aus BIM-Modellen abgeleiteten Pläne entsprechen zum Teil nicht vollständig den heute geltenden Richtlinien zur Darstellung von Planunterlagen. Daher ist zu prüfen, ob eine Abweichungsbefugnis eingeräumt werden kann oder eine Anpassung der entsprechenden Richtlinien erforderlich ist. Für den AG ergeben sich insofern Änderungen, dass Vorgaben zur Übergabe elektronischer Zeichnungen (z.B. Layervorgaben) außer Kraft gesetzt werden können, da sie beim modellgestützten Arbeiten keine Bedeutung mehr haben.

Mehr- und Min-  
deraufwände in  
der Projektbear-  
beitung

Insgesamt ist ein reduzierter Aufwand durch den Einsatz einer einheitlichen Quelle zur Erstellung der Entwurfs- und Genehmigungspläne zu erwarten. Dies gilt insbesondere bei auftretenden Planungsänderungen, die bei der konventionellen Arbeitsweise ein aufwändiges und fehleranfälliges manuelles Nachführen aller betroffenen Zeichnungen notwendig machen. Für die Begrenzung des Aufwands auf ein adäquates Maß ist die Vereinbarung eines sinnvollen Detaillierungsgrades für Zeichnungen wichtig, die aus den Modellen generiert werden sollen. Die Erstellung von Detailplänen aus Modellen wäre mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Da der Einsatz von Standarddetails übliche Praxis ist, sollte dies jedoch auch im Rahmen der Anwendung von BIM berücksichtigt werden.

---

<b>AwF 10</b>	<b>Kostenschätzung und Kostenberechnung</b>
Kurzbeschreibung	Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells als Basis für Kostenschätzungen und Kostenberechnungen nach üblichen Kostengliederungen (DIN 276-4, VV-WSV 2107 etc.).
Detaillierung	Für die Kostenschätzung und Kostenberechnung bilden Mengen eine wesentliche Grundlage. BIM-Modelle der Planung enthalten gemäß der Anforderung für die Planerstellung wesentliche Informationen, die zur Gruppierung von Elementen und der Zuordnung zu Kostengruppen genutzt werden können. Weiterhin werden die genauen geometrischen Informationen der Modelle (z.B.Volumen, Fläche) aus dem BIM-Modell genutzt, um die Mengen dieser Elementgruppen entsprechend der Bezugseinheiten nachvollziehbar und effizient zu ermitteln.
Nutzen	Die Nutzung von BIM-Modellen als Grundlage für die Kostenschätzung und Kostenberechnung erhöht signifikant die Genauigkeit, Transparenz und Prüfbarkeit der Ergebnisse und dient damit unmittelbar dem Ziel einer erhöhten Kostensicherheit des Gesamtprojekts.
Status Quo	Eine Mengenermittlung anhand des Modells und eine darauf beruhende Kostenschätzung und Kostenberechnung ist technisch bereits zum jetzigen Zeitpunkt gut möglich und wird in vielen BIM-Projekten angewendet.
Implementierungsaufwand	Es ergibt sich für den AG die Notwendigkeit der Einführung von Software zur Prüfung der BIM-gestützten Mengenermittlung verbunden mit entsprechenden Schulungen. AN müssen sich Kenntnisse und Techniken zur BIM-gestützten Kostenschätzung und Kostenberechnung aneignen. Der Einsatz einer modellbasierten Mengenermittlung kann zum Teil mittels Standardfunktionalitäten von BIM-Modellierern realisiert werden, zum Teil ist aber auch die Nutzung spezieller Softwareprodukte erforderlich.

**AwF 10 Kostenschätzung und Kostenberechnung**

Mehr- und Min-  
deraufwände in  
der Projektbear-  
beitung

Die Verwendung des BIM-Modells für die Mengenermittlung reduziert den Aufwand für die Kostenschätzung und Kostenberechnung. Vor dem Hintergrund der Festlegung eines wirtschaftlichen Detaillierungsgrades in BIM-Modellen ist aber nicht zu erwarten, dass alle Mengenpositionen BIM-basiert extrahiert werden können. An dieser Stelle ergeben sich daher gleichbleibende Aufwände. Die Aktualisierung der Mengenermittlung im Fall von Planungsänderungen ist bei der BIM-basierten Methode aufwandsreduziert umsetzbar. Die Mengen können auch für die Terminplanung genutzt werden und Aufwände für mehrfache Mengenauszüge werden reduziert.

---

<b>AwF 11</b>	<b>Erstellung des Leistungsverzeichnisses</b>
Kurzbeschreibung	Modellgestütztes Erzeugen von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe auf Basis der vorliegenden Planung. Das modellgestützte Erzeugen von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses (LV) ist technisch bereits zum jetzigen Zeitpunkt möglich. Eine Entwicklungslücke existiert heute noch bei der gekoppelten Übermittlung von Modell und LV. Grundlage für die Erstellung von LV bleibt der Standardleistungskatalog für den Straßen- und Brückenbau des FGSV bzw. der Standardleistungskatalog der WSV für den Wasserbau, mit seinen hinterlegten Leistungsbereichen (LB).
Detaillierung	Im Anwendungsfall wird eine BIM-basierte Mengenermittlung mit einer Zuweisung von Leistungspositionen zu 3D-Modellelementen durchgeführt. Die Positionen des Leistungsverzeichnisses werden mit modellbasierten Mengen gefüllt. Die Detaillierung des Modells ist ein limitierender Faktor, der festlegt, bis zu welchem Umfang ein Leistungsverzeichnis BIM-basiert mit Mengen gefüllt werden kann. Besonders effizient ist der Anwendungsfall bei der Ermittlung von Raum-, Flächen- oder Längenmaß sowie Stückzahlen. Ein vollständiges Planungsmodell mit typisierten Bauteilen erlaubt zudem die Nutzung der Elementtypen bei der Definition der erforderlichen Leistungspositionen. Die Projekt- (auch Modell-), Vorgangs-/Terminplan- und LV-Struktur sollten aufeinander abgestimmt entwickelt und gegebenenfalls vorgegeben werden. Dies ist notwendig, um die Erstellung von 4D- und 5D-Modellen zu erleichtern, bei der zukünftig auch die Terminplanung berücksichtigt werden muss. Weitergehende Veränderungen bei Ausschreibung und Vergabe werden nicht erwartet. Der heute praktizierte Datenaustausch über die vorhandene GAEB -Schnittstelle ist weiterhin möglich. Sofern sinnvoll, ist die Erstellung eines bepreisten LV auf Basis der BIM-Mengen möglich.



AwF 11	Erstellung des Leistungsverzeichnisses
Nutzen	Die Verwendung des BIM-Modells für die Mengenermittlung reduziert den Aufwand für die Erstellung des LV und hilft dabei, Fehler im LV und daraus resultierende kostenintensive Nachträge zu vermeiden. Der AwF dient damit unmittelbar dem übergeordneten Ziel der erhöhten Kostensicherheit des Gesamtprojekts. Aktualisierungen von Mengenermittlungen für das Leistungsverzeichnis sind bei der BIM-basierten Methode in der Regel als weniger aufwendig einzuschätzen. Aufwände für mehrfache Mengenauszüge werden reduziert und die Transparenz und Prüfbarkeit der Ergebnisse verbessert.
Status Quo	Dieser Anwendungsfall wird zwar bereits zum Teil durchgeführt, allerdings i.d.R. nicht als durchgängiger Prozess von LV-Erstellung über Ausschreibung bis hin zur Vergabe. Meist werden Haupt-Positionen eines LV mit modellgestützt erzeugten Mengen bestückt oder verifiziert, oder es werden separat hiervon Modelle ñ dann ohne Mengengerüst – auf informativer Basis mit Ausschreibungen zur Verfügung gestellt.
Implementierungsaufwand	Für den AG ergibt sich die Notwendigkeit der Einführung von Software zur Prüfung der BIM-gestützt erstellten LVs verbunden mit entsprechenden Schulungen. AN müssen sich Kenntnisse und Techniken zur BIM-gestützten LV-Erstellung aneignen. Zudem ist die Einführung geeigneter Softwareprodukte und die damit verbundene Schulung notwendig. Eine Effizienzsteigerung der Mengenermittlung kann durch die Anpassung der Normierung für Mengenermittlungen (z.B.VOB-C oder DIN4124) erreicht werden. Die Regularien, die einer Vereinfachung der 2D-basierten Mengenermittlung dienen, erhöhen bei der BIM-Methode den Aufwand.
Mehr- und Minderaufwände in der Projektbearbeitung	Die Weiterverwendung von modellbasierten Informationen bei der Erstellung ggf. vollständiger Leistungsverzeichnisse reduziert zwar den Aufwand der Mengenermittlung bei den Projektbeteiligten. Die vorgesehene Detaillierung der BIM-Modelle muss aber die Anforderungen dieses Anwendungsfalls berücksichtigen und gleichzeitig wirtschaftlich bleiben. Eine vollständige Ermittlung aller Mengenpositionen direkt aus den Modellen ist insbesondere unter Betrachtung der Planung mit 2D-Standarddetails nicht zu erwarten. Somit ist in Einzelfällen die Verwendung von Platzhalterobjekten zu berücksichtigen, um die Konsistenz von Modell und extrahierten Informationen zu wahren. Hieraus kann ein geringer Mehraufwand entstehen.

---

<b>AwF 12</b>	<b>Terminplanung der Ausführung</b>
Kurzbeschreibung	Erstellung eines 4D-Modells zur Verknüpfung von Vorgängen der Terminplanung mit den zugehörigen Elementen des Modells zur Beschreibung des geplanten Bauablaufs.
Detaillierung	Die Verknüpfung der 3D-Modelle mit der Terminplanung zur Schaffung von 4D-Modellen erfolgt mithilfe von entsprechenden Softwareprodukten. Dabei ist eine teilautomatische Verknüpfung der einzelnen Modellelemente mit den entsprechenden Vorgängen möglich. Es ist zu beachten, dass im Lauf des Projekts Terminpläne mit bestimmter Konkretisierung erzeugt werden, reichend von Rahmenterminplänen über Grobterminpläne (Meilensteinterminpläne) bis hin zu Detailterminplänen. Je nach Anwendungsphase wird der Bauzeitenplan der Entwurfsphase oder der zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber vereinbarte Vertragsterminplan zu Grunde gelegt. Hinweise zu den verschiedenen Detaillierungsstufen gibt die VDI-Richtlinie 2552-3. Damit 3D-Modell und Bauzeitenplan sinnvoll verknüpft werden können, muss die jeweilige Struktur des Modells, des Vorgangs-/Terminplans und des LV aufeinander abgestimmt entwickelt und gegebenenfalls vorgegeben werden. Aufgrund der Vernetzung der Modelldaten mit Termindaten stellen Änderungen, zum Beispiel infolge von Bauablaufstörungen, eine zusätzliche Herausforderung dar. Als Beispiel lässt sich nennen, dass neu hinzugekommene Elemente in einem zusätzlichen Arbeitsschritt vernetzt werden müssen. Die Vorgehensweise dazu ist ggf. über die AIA anzufordern und im BAP zu beschreiben.
Nutzen	Der AwF trägt unmittelbar zum übergeordneten Ziel der Erhöhung der Terminalsicherheit bei. Bei der Erstellung des 4D-Modells werden Terminpläne mit Modellelementen verknüpft. Bei diesem Prozess werden häufig Unregelmäßigkeiten zwischen 3D-Modell und Terminplan aufgedeckt, die z.B. durch fehlende Bauvorgänge begründet sein können. Durch die Zusammenführung der Terminplanung und der BIM-basierten Mengenermittlung können Modellmengen den Vorgängen zugewiesen werden. Somit kann der Terminplan unter Beachtung der geplanten Aufwandswerte in Bezug auf initial geplante Vorgangsdauern verifiziert werden. Weiter lässt sich die visuelle Komponente des 4D-Modells gut in der Abstimmung mit dem Auftraggeber und der Kommunikation mit der Öffentlichkeit einsetzen.

---

<b>AwF 12</b>	<b>Terminplanung der Ausführung</b>
Status Quo	Die Verknüpfung des BIM-Modells mit dem Bauablauf ist zum jetzigen Zeitpunkt technisch auch für komplexere Bauvorhaben bereits möglich und wird praktiziert. Die Anwendung erfolgt derzeit vorrangig zur Visualisierung und Auswertung von existierenden Terminplänen, nicht zur eigentlichen Erstellung der Terminpläne. Eine Fortschreibung der 4D-Modellierung während der Ausführung wird häufig noch nicht umgesetzt.
Implementierungsaufwand	Für die AG ergibt sich die Notwendigkeit zur Einführung von Softwarewerkzeugen zur Visualisierung und Prüfung von 4D-Modellen. Der Schulungsaufwand für die Nutzung dieser Werkzeuge wird als gering eingeschätzt.
Mehr- und Minderaufwände in der Projektbearbeitung	Die Erstellung oder Aktualisierung von 4D-Modellen bedeutet im Regelfall einen zusätzlichen Aufwand im Projekt. Eine Einteilung von Modellelementen, etwa in Betonierabschnitte, muss gegebenenfalls vorgenommen werden, was den Planungsaufwand in einen früheren Zeitpunkt verlagert. Es kann aber auch eine Detaillierung im Rahmen der 4D-Modell-Erstellung erfolgen, was die Aufwände auf den Ersteller des 4D-Modells verlagert. Im Prozess der Erstellung des 4D-Modells erfolgt aber eine implizite Prüfung der zugrundeliegenden Daten, da diese vollständig sein müssen. Im Bereich der gemeinsamen Koordination werden durch die Visualisierung effizientere Abstimmungen möglich, die aus Sicht des Gesamtvorhabens Aufwände einsparen.

---

<b>AwF 14</b>	<b>Erstellung von Ausführungsplänen</b>
Kurzbeschreibung	Ableitung der wesentlichen Teile der Ausführungspläne bis zu einem festzulegenden Maßstab aus dem Modell.
Detaillierung	Auf Basis des Planungsmodells wird ein Produktionsmodell entwickelt, das die Belange der technischen und wirtschaftlichen Ausführung des Bauvorhabens vollständig berücksichtigt. In diesem Modell werden die Ausführungsplanungen der Fachgewerke integriert. Die Ableitung der Ausführungspläne wird abhängig von der Vergabestrategie von den beteiligten Fachplanern oder von den bauausführenden Unternehmen verantwortet. Für die Planerstellung werden im 3D-Modell Projektionen bzw. Schnitte erstellt, die in einer 2D-Ansicht in der Software z.B. für einen Grundrissplan oder einen Schnitt genutzt werden. Diese Ansichten werden dann mit 2D-Informationen wie Maßketten oder Beschreibungen, sowie Plankopf und Planrahmen ergänzt und als Plan gespeichert. Für detailliertere Pläne, die größere Projektausschnitte darstellen, z.B. Schnittdarstellungen im Maßstab 1:20 werden zusätzlich 2D-Elemente für eine Detaillierung ergänzt, die im Modell nicht enthalten sind. Im BIM-Prozess werden die Informationen im Modell gespeichert, um auf diese bei der Planerstellung zurückzugreifen, im Gegensatz zur 2D-Planung, bei der die Informationen vom Planbearbeiter gepflegt werden müssen.
Nutzen	Der AwF dient unmittelbar dem übergeordneten Ziel der Erhöhung der Qualität der Planung und trägt damit zur Erhöhung der Termin- und Kostensicherheit bei. Die Ableitung der Planunterlagen aus BIM-Modellen verringert die Fehleranfälligkeit und den Koordinationsaufwand für die Erstellung von Schnitten und Ansichten, da eine einheitliche Quelle genutzt wird. Damit verringern sich Unstimmigkeiten, die bei Nichterkennen zu erheblichen Kosten und Terminverzögerungen in der Bauausführung führen können.
Status Quo	Das Ableiten der Ausführungspläne aus dem Modell ist bereits zum jetzigen Zeitpunkt im Regelfall gut möglich und wird in nahezu allen BIM-Projekten umgesetzt. Bei komplexeren Geometrien kommt es mitunter noch zu Problemen in der Zeichnungsgenerierung, die aber bis 2020 überwunden sein sollten.

**AwF 14      Erstellung von Ausführungsplänen**

Implementierungs-  
aufwand

Die aus BIM-Modellen abgeleiteten Pläne entsprechen zum Teil nicht vollständig den heute geltenden Richtlinien zur Darstellung von Planunterlagen. Daher ist zu prüfen, ob eine Abweichungsbefugnis eingeräumt werden kann oder eine Anpassung der entsprechenden Richtlinien erforderlich ist. Für den AG ergeben sich insofern Änderungen, dass Vorgaben zur Übergabe elektronischer Zeichnungen (z.B. Layervorgaben) außer Kraft gesetzt werden können, da sie beim modellgestützten Arbeiten keine Bedeutung mehr haben.

Mehr- und Min-  
deraufwände in  
der Projektbear-  
beitung

Insgesamt ist ein reduzierter Aufwand durch den Einsatz einer einheitlichen Quelle zur Erstellung der Ausführungspläne zu erwarten. Dies gilt insbesondere bei auftretenden Planungsänderungen, die bei der konventionellen Arbeitsweise ein aufwändiges und fehleranfälliges manuelles Nachführen aller betroffenen Zeichnungen notwendig machen. Für die Aufwandsbetrachtung wichtig ist die Vereinbarung eines sinnvollen Detaillierungsgrades, die aus den Modellen generiert werden soll. Die Erstellung von Detailplänen aus Modellen wäre mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Da der Einsatz von Standarddetails übliche Praxis ist, sollte dies jedoch auch im Rahmen der Anwendung von BIM berücksichtigt werden.

## B. Attribut-Tabellen für ausgewählte Bauteile des Schleusenbaus

Tabelle B.1: Attribuierung von Bohrpfählen bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	- -	Material -	Material Primär-/Sekundärpfahl	Material Primär-/Sekundärpfahl	- -	- -
AwF 5	Klassifikation -	Klassifikation Material	- -	Klassifikation Material <sup>2</sup>	- -	- -
AwF 7	Klassifikation - - -	Klassifikation Material Ober-/Unterkannte Durchmesser Primär-/Sekundärpfahl	Klassifikation Material Ober-/Unterkannte Durchmesser Primär-/Sekundärpfahl	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengeninheit	Klassifikation Material <sup>1</sup> Mengeninheit Bewehrungsgehalt Durchmesser	- - - -	- - - -	- - -	- - -
AwF 11	- - - - - - -	- - - - - -	- - - -	- - - -	Klassifikation Material <sup>1</sup> Materialspezifikation <sup>1</sup> Primär-/Sekundärpfahl Bewehrungsangaben <sup>2</sup> Mengeninheit Durchmesser Ober-/Unterkannte	Klassifikation Material <sup>1</sup> Materialspezifikation <sup>1</sup> Primär-/Sekundärpfahl Bewehrungsangaben <sup>2</sup> Mengeninheit Durchmesser Ober-/Unterkannte
AwF 12	- - - -	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Primär-/Sekundärpfahl Bauphase Verknüpfung	- - -	- - -
AwF 14	- - - -	- - - -	- - - -	Klassifikation Material Primär-/Sekundärpfahl Durchmesser Ober-/Unterkannte	- - -	- - -

<sup>1</sup>Getrennte Angaben für Beton und Bewehrung<sup>2</sup>Bewehrungsgehalt, Bewehrungstyp und Mindestbewehrung

**Tabelle B.2:** Attribuierung von Spundwandbohlen bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	- -	Material -	Material -	Material Profil/Typ	- -	- -
AwF 5	Klassifikation -	Klassifikation Material	- -	Klassifikation Material	- -	- -
AwF 7	Klassifikation - - -	Klassifikation Material Materialgüte Profil /Typ Ober-/Unterkannte	Klassifikation Material Materialgüte Profil /Typ Ober-/Unterkannte	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengeninheit	Klassifikation Material Materialgüte Mengenansatz Profil /Typ Korrosionsschutz	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
AwF 11	- - - - - - -	- - - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Material Materialgüte Mengeninheit Profil/Typ Lieferform Durchmesser Ober-/Unterkannte Einbauteile Korrosionsschutz	Klassifikation Material Materialgüte Mengeninheit Profil/Typ Lieferform Durchmesser Ober-/Unterkannte Einbauteile Korrosionsschutz
AwF 12	- - - -	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Profil/Typ Verknüpfung	- - - -	- - - -
AwF 14	- - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Profil /Typ Material Materialgüte Einbauteile Korrosionsschutz	- - - - -	- - - - -



**Tabelle B.3:** Attribuierung eines Verankerungselements bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Bauphase	-	-	-	-	-
AwF 3	-	Material Ankertyp	Material Ankertyp	Material Ankertyp	-	-
AwF 5	Klassifikation	Klassifikation Material	-	Klassifikation Material	-	-
AwF 7	Klassifikation Ankertyp	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup>	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup> Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-	-
AwF 10	Klassifikation Material Anzahl	Klassifikation Ankertyp Anzahl Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Durchmesser <sup>1</sup> Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-	-	-
AwF 11	-	-	-	-	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Durchmesser <sup>1</sup> Durchmesser Bohrung	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Durchmesser <sup>1</sup> Durchmesser Bohrung
AwF 12	-	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Ankertyp Bauphase Verknüpfung Elementnummer	-	-
AwF 14	-	-	-	Klassifikation Ankertyp Material <sup>1</sup> Materialgüte <sup>1</sup> Durchmesser <sup>1</sup> Litzen-/Stabanzahl Ankerlänge/-winkel Ankerabstände Verpresskörperlänge	-	-

<sup>1</sup>Getrennte Angaben für Zugglied und Verpresskörper

Tabelle B.4: Attribuierung der Schleusenausrüstung bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Typ Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	-	Typ	Typ	Typ	-	-
AwF 5	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	Klassifikation Typ Material	- - -	- - -
AwF 7	- -	Klassifikation Typ	Klassifikation Typ	Klassifikation Typ	- -	- -
AwF 10	Klassifikation Typ Stückzahl	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	- - - -	- - - -
AwF 11	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - -	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz	Klassifikation Typ Stückzahl Material Korrosionsschutz
AwF 12	- - - -	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Typ Bauphase Verknüpfung	- - - -	- - - -
AwF 14	- -	- -	- -	Klassifikation Typ	- -	- -

**Tabelle B.5:** Attribuierung eines Elements des Massivbaus bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauphase	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 3	-	Material	Material	Material	-	-
AwF 5	Klassifikation Material	Klassifikation Material	- -	Klassifikation Material	- -	- -
AwF 7	Klassifikation Material	Klassifikation Material bewehrt/unbewehrt Oberflächengefälle	Klassifikation Material bewehrt/unbewehrt Oberflächengefälle	- - -	- - -	- - -
AwF 10	Klassifikation Material Mengenansatz	Klassifikation Material Mengenansatz Bewehrungsgehalt Bauteilgeometrie Einbringverfahren	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
AwF 11	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	Klassifikation Material Materialspezifikation Mengeneinheit Bewehrungsangaben <sup>1</sup> Bauteilgeometrie	Klassifikation Material Materialspezifikation Mengeneinheit Bewehrungsangaben <sup>1</sup> Bauteilgeometrie
AwF 12	- - - -	Klassifikation Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Verknüpfung	Klassifikation Bauphase Verknüpfung Betonierabschnitte	- - - -	- - - -
AwF 14	- -	- -	- -	Klassifikation Material	- -	- -

<sup>1</sup>Bewehrungsgehalt, Bewehrungstyp und Mindestbewehrung

Tabelle B.6: Attribuierung eines Bestandselements bezogen auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle

	LPH 2	LPH 3	LPH 4	LPH 5	LPH 6	LPH 7
AwF 2	Klassifikation Material Bauwerkszustand Bauphase <sup>1</sup>	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
AwF 3	-	Material	Material	Material	-	-
AwF 5	-	Klassifikation Material	-	Klassifikation Material	-	-
AwF 7	Klassifikation Material Abbruchabschnitt	Klassifikation Material Abbruchabschnitt	Klassifikation Material Abbruchabschnitt Bauwerkszustand Emissionen <sup>2</sup>	- - - -	- - - -	- - - -
AwF 10	Klassifikation Material Bauwerkszustand	Klassifikation Material Bauwerkszustand	- - -	- - -	- - -	- - -
AwF 11	- - -	- - -	- - -	- - -	Material Festigkeitsklasse bewehrt/unbewehrt	Material Festigkeitsklasse bewehrt/unbewehrt
AwF 12	- - - - - -	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung -	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung Emissionen	Klassifikation Material Bauphase <sup>1</sup> Bauwerkszustand Verknüpfung Emissionen	- - - - -	- - - - -
AwF 14	- -	- -	- -	Klassifikation Material	- -	- -

<sup>1</sup>Je nach Bauwerkszustand: Abbruch, Instandsetzung, etc.<sup>2</sup>Erforderliche Attribute gemäß Umweltverträglichkeitsuntersuchung

## C. Digitaler Anhang

Bei der Abgabe werden dieser Arbeit in digitaler Form beigefügt:

- Die zugehörigen *Revit*-Projekte und Bauteilfamilien
- Die vorliegende Arbeit als  $\text{\LaTeX}$ - und PDF-Datei

# Literaturverzeichnis

- American Institute of Architects (2008). AIA Document E202 - Building Information Modeling Exhibit. Forschungsbericht, The American Institute of Architects.
- Arndt, E.-H. (2016). Größte Seeschleuse der Welt in Betrieb genommen. unter: [www.thb.info/rubriken/single-view/news/groesste-seeschleuse-der-welt-ingeweiht.html](http://www.thb.info/rubriken/single-view/news/groesste-seeschleuse-der-welt-ingeweiht.html) (abgerufen am 27.04.2018).
- Arndt, E.-H. (2018). Neue ESK-Schleuse soll entstehen. unter: [www.thb.info/rubriken/single-view/news/neue-esk-schleuse-soll-entstehen.html](http://www.thb.info/rubriken/single-view/news/neue-esk-schleuse-soll-entstehen.html) (abgerufen am 27.04.2018).
- Autodesk (2017). Autodesk Revit 2017. unter: [help.autodesk.com/view/RVTLT/2017/DEU](http://help.autodesk.com/view/RVTLT/2017/DEU) (abgerufen am: 07.09.18).
- Baldwin, M. (2018). *Der BIM-Manager*. Beuth Verlag GmbH.
- Bedrick, J. (2008). Organizing the Development of a Building Information Model. *AECbytes*, S. 1–4.
- BIM4INFRA2020 (2017a). Pilotprojekt Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes - Neubau der Westkammer der Schleuse Wedtlenstedt. Forschungsbericht, BIM4INFRA.
- BIM4INFRA2020 (2017b, 09). Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ AP 1.2 „Szenariendefinition“ und AP 1.3 „Empfehlung“. unter: [www.bim4infra.de/downloads/](http://www.bim4infra.de/downloads/) (abgerufen am 21.09.2018).
- BIMForum (2018). LOD Spec 2018 Guide. Richtlinie, BIMForum. unter: [www.bimforum.org/lod](http://www.bimforum.org/lod) (abgerufen am 10.08.2018).
- BMVBW (2005). Objektkatalog VV-WSV 11 02.
- BMVI (2015a). Stufenplan Digitales Planen und Bauen. unter: [www.bmvi.de/shareddocs/de/publikationen/dg/stufenplan-digitales-bauen.html](http://www.bmvi.de/shareddocs/de/publikationen/dg/stufenplan-digitales-bauen.html) (abgerufen am 04.05.2018).

- BMVI (2015b). Verkehrsinfrastrukturbericht 2016. unter: [www.vbw-ev.de/en/service/download/documents/item/bmvi-verkehrsinfrastrukturbericht-2016-auszug-wasserstrassen.html](http://www.vbw-ev.de/en/service/download/documents/item/bmvi-verkehrsinfrastrukturbericht-2016-auszug-wasserstrassen.html) (abgerufen am 04.05.2018).
- BMVI (2016). Bundesverkehrswegeplan 2030. unter: [www.bvwp2030.de](http://www.bvwp2030.de) (abgerufen am 03.05.2018).
- Bolpagni, M. (2016). The Many Faces of 'LOD'. unter: [www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html](http://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html) (abgerufen am 06.04.2018).
- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubaue, A., Steuer, H., Jubierre, J. R. & Flurl, M. (2015). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 30(4), S. 263–281.
- Borrmann, A. & König, M. (2018). *Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln*, Chapter Building Information Modeling, S. 1475–1485. Springer Vieweg.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (2015). *Building Information Modeling - Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Springer Vieweg.
- British Standards Institution (2013). PAS 1192-2:2013.
- Dehnert, H. (1954). *Schleusen und Hebewerke*. Springer.
- DIN19703 (2014). Schleusen der Binnenschiffahrtsstraßen. Norm, Deutsches Institut für Normung.
- DIN4054 (1977). Verkehrswasserbau Begriffe. Norm, Deutsches Institut für Normung.
- Drobnik, M. & Riegas, S. (2015). Zwischen BIM und Bleistift - Werk und Werkzeug. *TEC21 - Schweizerische Bauzeitung* 42, S. 28–31.
- Egger, M., Hausknecht, K., Liebich, T. & Przybylo, J. (2013). BIM-Leitfaden für Deutschland. Forschungsbericht, ZukunftBau.
- Entzian, K. & Scharmann, R. (2015). *Building Information Modeling - Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*, Chapter BIM für Bauen im Bestand, S. 371–383. Springer Vieweg.
- Goldenbaum, S. (2017). Prüfung der Anwendbarkeit gegenwärtiger LOD-Definitionen zum modellbasierten Arbeiten im Straßenbau im Vergleich zum Hochbau. Masterthesis, Hochschule für Technik Stuttgart.
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017). BIM im Spezialtiefbau. Forschungsbericht, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

- Hausknecht, K. & Liebich, T. (2016). *BIM-Kompendium - Building Information Modeling als neue Planungsmethode*. Fraunhofer IBR Verlag.
- Helmus, M., Meins-Becker, A. & Kelm, A. (2017). Entwicklung eines Anforderungskatalogs an Gebäudedatenmodelle in Bezug auf die Standardisierung der Detailinhalte und Detailtiefe aus Sicht der Bauausführung. Forschungsbericht, Bergische Universität Wuppertal.
- Hooper, M. (2015). Automated model progression scheduling using level of development. *Construction Innovation* 15(4), S. 428–448.
- Huang, J. & Bödefeld, J. (2018). Schleusen-Baugrund-Wasser - Interationsprozesse in der frühen Planungsphase. In: *Digitale Infrastruktur und Geotechnik*, S. 181–189. Institut für Geotechnik und Baubetrieb: Technische Universität Hamburg.
- Huber, M. (2015). Zwischen BIM und Bleistift - Vom Groben ins Feine. *TEC21 - Schweizerische Bauzeitung* 42, S. 31–33.
- Jander, A. (2012). Aktuelle Situation der Standardisierung von Schleusen. In: *Hydraulischer Entwurf und Betrieb von Wasserbauwerken*, S. 33–38. Bundesanstalt für Wasserbau.
- Kaden, R., Clemen, C., Seus, R., Blankenbach, J., Becker, R., Eichhorn, A., Donaubaue, A. & Gruber, U. (2017). Leitfaden Geodäsie und BIM. Forschungsbericht, DVW und Runder Tisch GIS e. V.
- Mini, F. (2016). Entwicklung eines LoD Konzepts für digitale Bauwerksmodelle von Brücken und dessen Implementierung. Masterthesis, TU München.
- NATSPEC (2013). NATSPEC BIM Paper NBP 001: BIM and LOD. Richtlinie, NATSPEC.
- NBA Hannover (2018). Auftraggeberinformationsanforderungen - Lastenheft zur Abwicklung des Ersatzneubaus der Schleuse Lüneburg mit der Methode Building Information Modeling. unter: [www.evergabe-online.de/tenderdocuments.html?lid=206232](http://www.evergabe-online.de/tenderdocuments.html?lid=206232) (abgerufen am 06.09.2018).
- Nöldgen, M. (2016). *BIM im Brücken- und Ingenieurbau*. Springer Vieweg.
- Papantonakis, D.-S. (2018). Entwicklung eines Konzepts zur Beschreibung der Level of Detail zur Anwendung der Building Information Modeling Methode für Tunnelbauwerke. Masterthesis, Ruhr-Universität Bochum.
- Patt, H. & Gonsowski, P. (2010). *Wasserbau - Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen*. Springer.
- Peschken, G., Wachholz, T. & Bödefeld, J. (2017). BIM im Verkehrswasserbau. *Bautechnik* 94 Heft 8, S. 509–513.



- Quirk, V. (2012). A Brief History of BIM. unter: [www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/](http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/) (aufgerufen am 11.05.2018).
- Schatz, K. (2018). BIM Fachwissen Modellinhalte. unter: [www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/welche-informationen-sollte-ein-bim-objekt-enthalten-5185618](http://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/welche-informationen-sollte-ein-bim-objekt-enthalten-5185618) (abgerufen am 26.04.18).
- Seus, P. (2012). Standardisierung in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. In: *Hydraulischer Entwurf und Betrieb von Wasserbauwerken*. Bundesanstalt für Wasserbau.
- Strobl, T. & Zunic, F. (2006). *Wasserbau - Aktuelle Grundlagen, Neue Entwicklungen*. Springer.
- Treldal, N., Vestergaard, F. & Karlshøj, J. (2016). Pragmatic Use of LOD - a Modular Approach. In: *11th European Conference on Product and Process Modelling*, Limassol, Cyprus.
- Van Treeck, C. (2016). *Gebäude. Technik. Digital*, Chapter Building Information Modeling, S. 8–85. Springer Vieweg.
- Verband Beratender Ingenieure (2013). *HOAI 2013*. Verband Beratender Ingenieure.
- Verband Beratender Ingenieure (2016). BIM-Leitfaden für die Planerpraxis. Forschungsbericht, Verband Beratender Ingenieure.
- Vischer, D. & Huber, A. (2002). *Wasserbau - Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- Wachholz, T. (2015). Standardisierung von Wasserbauwerken in der WSV. In: *BAWKolloquium - Wasserbauwerke - Vom hydraulischen Entwurf bis zum Betrieb*. Bundesanstalt für Wasserbau.
- WSA Kiel (2017). Ersatzneubau der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau. unter: [www.wsa-kiel.wsv.de](http://www.wsa-kiel.wsv.de) (abgerufen am 05.09.2018).