

# Ein Vergleich von LoD-Konzepten im Infrastrukturbau

Andreas Fehrenbach<sup>1</sup> and Štefan Jaud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>WTM Engineers GmbH · Johannisbollwerk 6-8 · 20459 Hamburg · Germany ·  
a.fehrenbach@wtm-hh.de

<sup>2</sup>Chair for Computational Modeling and Simulation · Technische Universität München · Arcisstraße  
21 · 80333 München · E-Mail: ga24yuk@mytum.de

Level of Development (LoD)-Konzepte bilden eine bedeutsame Kommunikationsgrundlage für die am Building Information Modeling (BIM)-Projekt beteiligten Personen. In diesem Artikel werden je ein Konzept für Brücken-, Straßen-, Tunnel- und Schleusenbauwerke verglichen. Eine Vielzahl an Eingriffen in die BIMForum-Referenzstruktur erschweren die Anwendbarkeit, da Projektbeteiligte eine große Anzahl unterschiedlicher Ansätze verstehen müssen. Eine Verbindung der LoD zu den Leistungsphasen (LPH) wird kritisch gesehen, da dadurch sogenannte LoD-###-Modelle entstehen. Ohne präzise Festlegung der Attributbestimmung wird eine Überladung des Modells mit nicht benötigten Informationen gefördert. Zudem wird eine eindeutige Abgrenzung der Begriffe LoD und Level of Geometry (LoG) empfohlen, um eine Vermischung der ursprünglichen Definitionen auszuschließen. Insgesamt wird erkannt, dass LoD-Konzepte im Infrastrukturbau noch mehr Aufmerksamkeit erfordern, da noch kein einheitliches Verständnis vorliegt.

**Keywords:** BIM, LOD-Konzept, LOD, LOG, LOI, Infrastrukturbau, BIM-Anwendungsfälle

## 1 Einleitung

Hausknecht and Liebich (2016) erkannten, dass der zielorientierte Austausch von Bauwerksinformationen mit Hilfe von Building Information Modeling (BIM)-Modellen nur dann missverständlich erfolgen kann, wenn alle Projektbeteiligten eine einheitliche Sprache sprechen. In Bezug auf den Informationsgehalt von digitalen 3D-Modellen erfolgt die Kommunikation unter Hinzunahme sogenannter Level of Development (LoD)-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 die Konzepte den Modellempfänger über die Zuverlässigkeit der übermittelten Informationen und der daraus resultierenden Möglichkeiten zur Verwendung des BIM-Modells. Die BIM-Methode steckt im Infrastrukturbau noch in der Findungsphase, sodass bereits LoD-Konzepte entwickelt wurden, die sich aber in ihren Ansätzen unterscheiden. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Vor- und Nachteilen bestehender Konzepte.

## 2 Grundlagen

Der Grundgedanke der LoD entstand beim Softwarehersteller Vico Software, der im Jahr 2004 nach einem Weg suchte, die Vollständigkeit und Verlässlichkeit von digitalen Bauwerksmodellen mitzuteilen (Bedrick, 2008). Mithilfe von LoD wird der steigende Informationsgehalt entlang des Designprozesses eines Modellelements in sechs Leveln von LoD100–500

beschrieben (BIMForum, 2018). Die geringste Modellierungstiefe ist das LoD100. Die digitale eins-zu-eins-Nachbildung des in der Realität gebauten Gebäudes erhält dagegen den höchsten Modellierungsgrad LoD500 (as-built Zustand). Nach Definition von BIMForum (2018) erfolgt der Levelaufbau konsistent, d. h. jedes höhere Level enthält alle Informationen der vorherigen Level. Für die Definitionen der LoD wird auf die aktuelle LOD-Specification des BIMForum (2018) verwiesen.

Bei der Beschreibung des Informationsgehalt wird zwischen dem geometrischen und semantischen Detaillierungsgrad unterschieden. Der geometrische Detaillierungsgrad wird mit Level of Geometry (LoG) bezeichnet; der Input an semantischen Informationen mit Level of Information (LoI) (Hausknecht and Liebich, 2016). Level of Information (LoI) beschreiben Informationen, die nicht geometrischer Natur sind, sondern bspw. alphanumerisch wie die Betonfestigkeitsklasse. Die Projektspezifität, das jeweilige Fachmodell und die Anwendungsfälle (AwF) üben unter anderem Einfluss auf die notwendige Informationstiefe eines Modellelements aus. Im Gegensatz zum LoG wird eine generische Abstufung der LoI selten vorgenommen und die Attribute bspw. in Form von Attribut-Tabellen festgelegt.

BIM4INFRA2020 (2017) definiert zwanzig AwF, die beschreiben, auf welche Weise und zu welchem Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden. Die ergebnisbezogene Formulierung unterstützt die Identifikation der geforderten Leistung und korreliert daher mit den LoG und LoI. Mit AwF können die Kernprozesse der Projektrealisierung definiert und anschließend auf das modellbasierte Arbeiten übertragen werden. Bspw. benötigt eine Visualisierung weniger semantische Informationen als eine Kostenberechnung. Demgegenüber stellt die Ableitung von Ausführungsplänen große Anforderungen an die geometrische Detaillierung. Die AwF üben somit einen erheblichen Einfluss auf den geometrischen und semantischen Informationsgehalt aus.

### 3 Vorstellung verschiedener Konzepte für Infrastrukturprojekte in Deutschland

Es werden vier Konzepte aus dem Infrastrukturbau vorgestellt, die in den letzten drei Jahren in Deutschland in Masterarbeiten erarbeitet wurden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die vier vorgestellten Konzepte. In den genannten Veröffentlichungen wird die LoD-Specification des BIMForum (2018) als Referenz angegeben. Innerhalb der Konzepte werden unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung des Modellinhalts verfolgt.

In BIMForum (2018) richtet sich die Beschreibung der LoD auf das Bauwerksmodell und einzelne Bauteile bzw. Elemente aus. Dieser Ansatz wird als *elementbezogener Ansatz* bezeichnet.

In Deutschland verfolgen verschiedene Autoren (vgl. Verband Beratender Ingenieure (2016); Goldenbaum (2017); Papantonakis (2018)) das Ziel, die internationale LoD-Struktur dem deutschen Preisrecht nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) anzupassen. Mit einer eins-zu-eins-Zuordnung der LoD zu den Leistungsphasen (LPH) erhalten alle Elemente eines Modells und innerhalb einer LPH den gleichen Detaillierungsgrad, so-

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung der unterschiedlichen Konzepte.

Veröffentlichung	Veränderung gegenüber der BIMForum Referenzstruktur (2018)	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	elementbezogen für Bauteile des Brückenbaus	Orientierungswerte	elementbezogen 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	nicht vorge-nommen	LOE = LOG + LOI; LOD bleibt bestehen
Papantonakis (2018)	zusätzliches LOG 0; kein LOD 350	Bereichsmodell für Querschnitt Tunnelbauwerk	ja	bereichsmodell-bezogen über LPH, AwF und LOG	LOD = LOG + LOI; keine Abgrenzung
Fehrenbach (2018)	keine Veränderungen	elementbezogen für Bauteile des Schleusenbaus; Zusammenfassen von Bauteilen im LOG 100–200 zu Bauteilgruppen	nein	elementbezogen über AwF und LPH	LOD, LOG und LOI werden gesondert betrachtet

**Tabelle 2:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Mini (2016) mit Attributbestimmung für einzelne Bauteile in Abhängigkeit des AwF und des jeweiligen LoG.

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

fern nicht der Hinweis an eine Mindestanforderung gegeben ist. Das BIMForum bezeichnet diese Modelle als LoD-###-Modelle. Die #-Symbole stehen für ein beliebiges LoD (z. B. LoD-300-Modell). Diese Herangehensweise wird als *fachmodellbezogener Ansatz* bezeichnet (Fehrenbach, 2018).

Erfolgt die Definition für einen räumlichen Ausschnitt des Bauwerksmodells, wird dieser Ansatz als *bereichsmodellbezogen* bezeichnet (Fehrenbach, 2018). Ein Bereichsmodell kann aus verschiedenen Fachmodellen bestehen. Ein Beispiel ist das Modell eines Tunnelquerschnitts, das aus dem Trassenmodell der Versorgungsleitungen, dem Massivbaumodell und weiteren zusammengesetzt sein kann.

**Mini (2016)** trifft die Auswahl der modellierten Bauteile mit dem Klassifikationssystem der Straßeninformationsdatenbank ASB-ING und richtet die LoG an die Anforderungen der Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (standardisierte Detaillösungen für die Konstruktion von Brückenbauteilen). In Tabelle 2 ist eine schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Mini (2016) abgebildet. Die ‚X‘ kennzeichnen die erforderlichen Attribute. Mini (2016) ordnet dem LoG100 keine semantischen Informationen zu.

**Tabelle 3:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Papantonakis (2018) für den Querschnitt eines Tunnelbauwerks. Attributbestimmung für jeweilige LPH mit zugehörigem LoD über AwF

Bereichsmodell X	LPH X, LoD X		
	Attribut 1	Attribut 2	...
AwF X	X	X	
AwF Y		X	
	⋮		

**Tabelle 4:** Schematische Darstellung der Attribut-Tabelle nach Fehrenbach (2018) für einzelne Bauteile. Auflistung der benötigten Attribute je nach AwF und LPH werden.

Bauteil X	LPH 1	LPH 2	...
AwF X	Attribut 1 Attribut 2	Attribut 1 Attribut 3	
AwF Y	Attribut 1	⋮	
	⋮		

**Goldenbaum (2018)** untersucht die Kongruenz zwischen den LoD-Definitionen des BIMForums, den Anforderungen an den Modellinhalt aus dem Straßenbau und den LPH 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 LoD für den Straßenbau vor und wendet das Konzept in einem Praxisbeispiel an.

**Papantonakis (2018)** verfolgt das aus der Geoinformatik bekannte Prinzip der Generalisierung, bei der kleinere oder unbedeutende Elemente erst mit zunehmendem Detaillierungsgrad modelliert werden. Der schematische Aufbau einer Attribut-Tabelle nach Papantonakis (2018) ist in Tabelle 3 dargestellt. Die vom Autor vorgenommene Zuordnung der LoD zu den LPH spiegelt sich auch in der Attribut-Tabelle wieder.

**Fehrenbach (2018)** folgt in dem LoD-Konzept für Schleusen dem Ansatz aus dem Positionspapier Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017), nach dem Bauteile in den LoG100 und 200 zu Bauteilgruppen zusammen gefasst und erst im LoG300 einzeln aufgeführt werden. Bspw. wird bei der Modellierung einer Spundwand, erst ab einem LoG300 zwischen einzelnen Spundbohlen unterschieden und diese modelliert. Fehrenbach (2018) untersucht die Randbedingungen zur Bestimmung der minimalen Anzahl an Attributen. Das dafür entwickelte Tabellenschema ist auf Bauteile ausgerichtet und ermittelt die Attribute aus der Querverbindung von AwF und entsprechender LPH (siehe Tabelle 4).

**Tabelle 5:** Zuordnung der LoD zu den LPH nach Papantonakis (2018); Mini (2016) sowie der LPH zu den LoD nach Goldenbaum (2017). Fehrenbach (2018) spricht sich gegen eine Zuordnung aus.

Goldenbaum (2017)			Mini (2016)	Papantonakis (2018)
—	LPH 1		LoD 100	LoD 0
LoD 100	LPH 2		LoD 200	LoD 100
LoD 300–350	LPH 3		LoD 300	LoD 200
LoD 400	LPH 4		LoD 300	LoD 200
LoD 500	→ LPH 5	→	LoD 400, 450	LoD 300
—	LPH 6–7		—	LoD 300
—	LPH 8		—	LoD 400
—	LPH 9		—	LoD 500

## 4 Vergleich und Diskussion der vorgestellten Konzepte

### 4.1 Unterschiedliche Ansätze

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 zu einem komplizierten Konzept. Aus diesem Grund bietet sich in diesem Fall ein bauteilübergreifendes oder fachmodellbezogenes Konzept an. Goldenbaum (2017) schließt daher eine elementbezogenes Konzept für Projekte mit einer großen Anzahl an unikalen Bauteilen mit geringer Wiederholungsrate aber komplizierten Geometrien aus.

Mit einer unflexiblen Struktur wird der Aspekt der Anwendbarkeit vernachlässigt. Insbesondere Modelle von Variantenuntersuchungen erfordern die Möglichkeit einer einfachen und schnellen Anpassung bei Planungsänderungen. Der aus Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2017) übernommene Aufbau von Fehrenbach (2018) ermöglicht in frühen LPH auf Planungsänderungen reagieren zu können, da nur eine geringe Anzahl an Modellelementen angepasst werden muss.

### 4.2 Die Zuordnung der LoD zu den LPH der HOAI

Die Diskussion über einen fachmodell-, bereichsmodell- oder elementbezogenen Ansatz wird von den Überlegungen über eine Zuordnung der LoD zu den LPH beeinflusst. Tabelle 5 zeigt die unterschiedlichen Herangehensweisen und Zuordnungen der LoD zu den LPH der Autorenschaft. Mini (2016) gibt keine Zuordnung der LoD zu den LPH vor, sondern Orientierungswerte an. Goldenbaum (2017) ordnet im Gegensatz zu Mini (2016) die LPH den LoD zu und nicht die LoD den LPH. Papantonakis (2018) ordnet die LoG direkt den LPH zu. Fehrenbach (2018) spricht sich gegen eine Zuordnung aus.

Eine Gegenüberstellung wie in Tabelle 5 vorgenommen ist nur bedingt aussagekräftig, da verschiedene Gewerke andere Gewichtungen der LPH haben. Es kommt hinzu, dass die Autorenschaft unterschiedliche Ausprägungen der LoD definieren.

Papantonakis (2018) sucht in seinem Konzept bewusst die Nähe zu den Leistungsbildern der HOAI. Das BIMForum (2018) spricht sich explizit gegen die dadurch entstehenden LoD-###-Modelle aus. Nach den Modellierungsleitsätzen nach Hausknecht and Liebich (2016) sind je Planungsphase nur die Informationen in ein BIM-Modell einzufügen, die für die Bewertung entwerflicher Fragen relevant sind. Mit der Erstellung von LoD-###-Modellen ist nicht kontrollierbar, welche Informationen ins Modell gelangen. Eine freie Zuordnung der LoG und Attribute zu den LPH, ermöglicht eine Modellierung gemäß der gewählten AwF.

Goldenbaum (2017) weist den LPH den LoD zu und erhält ein starres Gefüge mit einer Nicht-übereinstimmung aus Planungsleistungen und Mindestanforderungen an den Modellinhalt. In der Arbeit wird daher eine Diskrepanz aus den Anforderungen an die Planungsleistung und den Vorgaben aus dem LoD des BIMForums erkannt. Der Verband Beratender Ingenieure (2016) formuliert dazu passend: [...], *dass das Leistungsbild der HOAI den Modellierungsgrad bestimmt und nicht umgekehrt.*

Der geometrische Detaillierungsgrad kann mit den Maßstäben einer Zeichnung verglichen werden (Borrmann et al., 2015). 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 LPH verwendet.

### 4.3 Attributtabelle

In BIMForum (2018) werden die semantischen Eigenschaften eines Bauteils nicht spezifiziert, sondern in der Anmerkung *nicht grafische Informationen können ebenfalls an das Modellelement angehängt werden* je LoD ergänzt. Das BIMForum (2018) gibt an, dass die LoG in keinem Zusammenhang zum semantischen Informationsgehalt eines Objekts stehen. Aus diesem Grund verzichtet das BIMForum (2018) in der LOD-Specification 2018 erstmals auf eine Bestimmung der Attribute in Form von „Attribut tables“.

Fehrenbach (2018) gibt an, dass eine Entkopplung von LoI und LoG eine freie Zuordnung der Attribute zu den AwF ermöglicht. Dennoch erkennt Fehrenbach (2018), dass trotz getrennter Ermittlung von semantischen und geometrischen Informationen, beide unweigerlich in Verbindung stehen. Bspw. kann die Oberflächenneigung großer Massivbauelemente wie der Kammerwand einer Schleuse als Attribut angehängt oder im 3D-Modell abgebildet werden.

Die Erstellung einer generischen LoI-Struktur unterstützt die Ermittlung der Mindestanzahl an Attributen nicht. Durch allgemeine Formulierungen besteht die Gefahr der Überladung des Modells mit nicht benötigten Informationen. Der Leitsatz aus Hausknecht and Liebich (2016): *Wir modellieren nur so detailliert wie benötigt. Es wird nur die Aussage definiert, die zu der jeweiligen Projektphase relevant ist* ist somit nicht eingehalten.

### 4.4 Abgrenzung von LOG zu LOD

Es sind Unterschiede in der Interpretation der Formel  $LoD = LoG + LoI$  nach Hausknecht and Liebich (2016) erkennbar.

**Mini (2016)** beschreibt das LoG wie folgt: *Im Gegensatz beschreibt der LoD, wie durchdacht die Verknüpfung der geometrischen Darstellung und dem Modell hinzugefügten semantischen*

*Informationen ist.* Dadurch wird von der Autorin eine Abgrenzung zwischen LoD und LoG erreicht.

**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 LoD bleibt somit bestehen und der Aspekt der Verlässlichkeit von Modellinhalten erhalten.

In **Papantonakis (2018)** wird diese Begriffsabgrenzung nicht explizit vorgenommen und das LoD steht als Hyperonym für LoG und LoI. Dadurch hat das LoD im Vergleich zu der Definition von Mini (2016) und Goldenbaum (2017) keine eigene Stellung und enthält keine selbständige Aussage.

**Fehrenbach (2018)** erkennt die Vermischung der Definitionen von LoD und LoG und fordert eine strikte Trennung zwischen der Beschreibung der Geometrie und der Verlässlichkeit der Informationen. Weiter spricht sich Fehrenbach (2018) gegen die Verwendung des Begriffs LoI aus, da LoI keine generische Beschreibung erhalten und die Bezeichnung Level somit irreführend ist.

Der in Drittens angesprochene Sachverhalt wird deutlich, wenn man beachtet, dass das LoI von der Autorenschaft als nicht zu quantifizierende Größe beschrieben ist und in deren Veröffentlichungen keine Abstufung des LoI existiert. Danach suggeriert Papantonakis (2018) mit der Verwendung der Formel  $LoD = LoG + LoI$ , dass ein LoG100 dem LoD100 entspricht. Der Aspekt der Verlässlichkeit der Informationen geht dadurch für das LoD verloren. Die unterschiedliche Auffassung des Begriffs LoD von Papantonakis (2018) wird durch die Verwendung des Begriffs „Platzhalterkörper“ in der Definition seines LoD400 deutlich. Mit Blick auf eine rein geometrische Beschreibung kann der Begriff verwendet werden, mit Blick auf die Verlässlichkeit jedoch nicht. Mit Verwendung der Formel  $LoD = LoG + LoI$  geht verloren, dass das LoD mehr ist als nur die Summe seiner Teile.

## 5 Fazit

Die Erstellung von präzisen, elementbezogenen Konzepten ist zeitaufwendig und dennoch ist eine exakte Kommunikationsgrundlage anzustreben. Aus vagen Formulierungen ergeben sich Unschärfen, die zu einem negativen Ergebnis führen und gegebenenfalls eine nachträgliche Bearbeitung erfordern. In den nächsten Jahren wird eine iterative Bestimmung der Anforderungen über den Projektverlauf unvermeidlich sein, da heutzutage eine vordefinierte Festlegung von relevanten Informationen aufgrund fehlender Erfahrungswerte kaum möglich ist.

Ein digitales Bauwerksmodell kann innerhalb einer LPH Elemente mit verschiedenen LoG enthalten. Damit soll die notwendige Flexibilität geschaffen werden, die die besonderen Anforderungen der verschiedenen Fachmodellen und denen eines unikalen Projektes berücksichtigt sowie anwendungsfallgerechtes Modellieren zulässt. Der geometrische und semantische Modellinhalt wird demnach durch die BIM-AwF bestimmt, die projektspezifisch in einer AIA festgehalten werden.

Die Mindestanzahl der Attribute ist eine entscheidende Kennzahl zur Bestimmung des zu erwartenden Arbeitsumfangs des Modellerstellers. Zudem wird auf diese Weise vermieden Informationen zu veröffentlichen, die zum Zeitpunkt der Übermittlung noch unter Verschluss zu halten sind.

## 5.1 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der WTM Engineers GmbH und dem BMVI für die finanzielle Unterstützung bedanken.

## Literatur

- Bedrick, J. (2008), 'Organizing the Development of a Building Information Model', *AECbytes* pp. 1–4.
- BIM4INFRA2020 (2017), '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/lof](http://www.bimforum.org/lof) (abgerufen am 10.08.2018).
- Borrmann, A., König, M., Koch, C. and Beetz, J. (2015), *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*, VDI-Buch, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Fehrenbach, A. (2018), Definition von Modellinhalten für BIM-Modelle von Schleusenbauwerken für ausgewählte BIM-Anwendungsfälle der Planung, Master's thesis, Technische Universität München.
- 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, Technical report, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
- Hausknecht, K. and Liebich, T. (2016), *BIM-Kompendium - Building Information Modeling als neue Planungsmethode*, Fraunhofer IBR Verlag.
- Mini, F. (2016), Entwicklung eines LoD Konzepts für digitale Bauwerksmodelle von Brücken und dessen Implementierung, Masterthesis, TU München.
- 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.
- Verband Beratender Ingenieure (2016), BIM-Leitfaden für die Planerpraxis, Technical report, Verband Beratender Ingenieure.