

# Eignung verschiedener Datenmodelle für den Austausch digitaler Modelle eines Bahnsteigs

Verena Wolf<sup>1</sup> and Štefan Jaud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Obermeyer Planen + Beraten GmbH · Hansastraße 40 · 80686 München · Germany · E-Mail: ga76fat@mytum.de

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

Für den interoperablen Austausch des digitalen Bauwerkmodells zwischen den verschiedenen Akteuren eines Projektes werden Datenmodelle verwendet. In der Infrastruktur werden durch großräumig lineare Projekte andere Anforderungen an die Datenmodelle gestellt als im Hochbau. Die Datenmodelle sollten für einen erfolgreichen Austausch semantische und geometrische Anforderungen erfüllen, diese resultieren aus BIM-Anwendungsfällen (AwF). Um die Eignung der Datenmodelle bewerten zu können wird ein Konzept entwickelt und angewandt. Als Beispiel werden die von BIM4INFRA2020 definierten AwF verwendet und der Bedarf verschiedener Anforderungen in Bezug auf AwF eingeschätzt. Die Datenmodelle werden überprüft, ob diese die Anforderungen unterstützen. Folgende Vertreter aus geometrischen und semantisch-geometrischen Datenmodellen wurden ausgewählt und verglichen: DXF, OBJ, IFC2x3, IFC4x1 und CityGML. Bei der Anwendung des Konzeptes haben sich die semantisch-geometrischen Datenmodelle, unter denen IFC4x1 als am besten geeignet erwiesen.

**Keywords:** BIM, Datenmodelle, IFC, CityGML, DXF, OBJ

## 1 Einleitung

### 1.1 Datenaustausch

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur beauftragt die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 für die wissenschaftliche Unterstützung bei der Einführung der BIM-Methode. BIM4INFRA2020 entwirft Empfehlungen um das Leistungsbild für Projekte, die mit der BIM-Methode durchgeführt werden zu konkretisieren. Eine Empfehlung beschreibt die verschiedenen AwF. Diese unterstützen die Projektbeteiligten beim Erreichen der BIM-Ziele, bspw. Planungssicherheit und Schnittstellenkoordination. Die AwF umfassen von AwF 1 Bestandserfassung über AwF 3 Visualisierung und AwF 10 Kostenschätzung bis hin zu AwF 20 Nutzung zum Betrieb und zur Erhaltung wichtige Anwendungen in den verschiedenen Leistungsphasen (BIM4INFRA2020, 2018).

Um den verschiedenen AwF gerecht zu werden, können die Informationen des digitalen Bauwerkmodells mit Datenmodellen ausgetauscht werden. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die nativen Datenmodelle der Infrastruktur. Für die Umsetzung der BIM-Methode nach dem Stufenplan ist die Verwendung der nativen Datenmodelle existenziell. Ziel des vorliegenden Konzeptes ist es herauszufinden, ob derzeit die BIM-Methode für die Bahnsteigplanung durchgeführt werden kann. Dabei wird untersucht, welches Datenmodell für die Durchführung einer Bahnsteigplanung mit der BIM-Methode am besten geeignet ist. Um das definierte Ziel zu erreichen wird ein Konzept entwickelt, dass die verschiedenen Datenmodelle bewer-

tet. Hierfür werden allgemeine, semantische und geometrische Anforderungen an die Datenmodelle in verschiedenen AwF definiert. Diese resultieren aus der Untersuchung der AwF der BIM-Methode und der Beschreibung der Datenmodelle. Die Unterstützung der Anforderungen in den Datenmodellen wird geprüft und der Bedarf der Anforderungen in den jeweiligen AwF festgelegt. Dadurch können zum einen die Entwickler der Datenmodelle Erkenntnisse über die Fähigkeiten der verschiedenen Datenmodelle gewinnen. Zum anderen kann bei der Durchführung der BIM-Methode in den Auftraggeberinformationsanforderungen das beste Datenmodell für das jeweilige Projekt gewählt werden.

## 1.2 Literaturüberblick

Für die Bewertung der verschiedenen Datenmodelle wird als Hauptliteratur möglichst die offizielle Dokumentation bzw. Spezifikation des Datenmodells verwendet. Die Bewertung der Datenmodelle aus dem Bereich der Geoinformatik in Verknüpfung mit der BIM-Methode wird von Nejatbakhsh (2017) durchgeführt. Sie stellt die Datenmodelle LandXML und CityGML gegenüber. Brüggemann und von Both (2015) vergleichen ebenfalls das Datenmodell CityGML, jedoch mit IFC. Datenmodelle, die sich mehr auf die Infrastruktur konzentrieren sind OKSTRA, IFC und LandXML. Diese werden von Ji (2014) und Amann (2015) betrachtet. Des Weiteren wägen Heckner und Wirth (2014) und McGlenn et al. (2019) verschiedene geometrische Volumenmodelle bzw. Kerne gegeneinander ab. Die zuvor genannte Literatur ist eine gute Basis, um einen Überblick über die Modelle zu erlangen, jedoch keine Grundlage, um sich für ein Datenmodell in einer bestimmten Anwendung entscheiden zu können. Dafür wird eine Methode benötigt, die die Datenmodelle in Bezug auf ihre Anforderungen im jeweiligen AwF evaluiert. Einen ersten Ansatz für eine Bewertung führt Wu et al. (2017) mit verschiedenen BIM-Reifegradmethoden aus.

## 2 Methodik

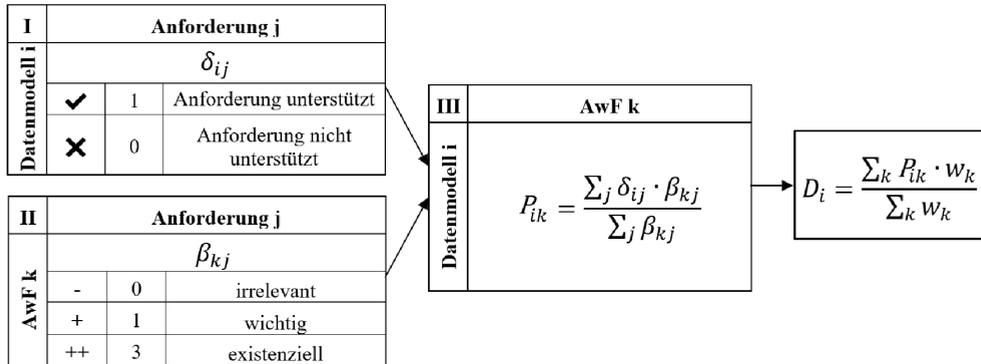
In der Literatur wurde keine geeignete Methodik gefunden. Deshalb wird eine eigene Methodik entwickelt. Der Leitgedanke dabei ist, die Datenmodelle mit Hilfe der Anforderungen, die aus den verschiedenen AwF resultieren zu bewerten. Dazu wird überprüft ob die Anforderung vom jeweiligen Datenmodell unterstützt wird und dabei vom AwF benötigt wird. Daraus ergibt sich die Eignung des Datenmodells in der BIM-Anwendung.

### 2.1 Anforderungen

Die Anforderungen der Datenmodelle basieren auf den BIM-Anwendungen. In diesem Beitrag werden die AwF von BIM4INFRA2020 verwendet (vgl. Kap. 1.1). Diese werden strukturiert nach allgemeinen, semantischen und geometrischen Anforderungen. Die verschiedenen Anforderungen werden von Wolf (2019) detailliert definiert, sie basieren auf folgender Literatur: (Wallner und von Both, 2017; Brüggemann und von Both, 2015; Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2018; BIM4INFRA2020, 2018; Borrmann und Berkahn, 2015; Obergrißer, 2017; Markič et al., 2018; Borrmann et al., 2017; McGlenn et al., 2019; Bracht et al., 2018; buildingSMART International Limited, 2018; buildingSMART International, 2019)

## 2.2 Entscheidungen

Die Bewertung von Datenmodellen erfolgt mit dem Konzept, dass in Abb. 1 dargestellt wird. Die Indizes werden definiert mit  $i$  für Datenmodell,  $j$  für Anforderung,  $k$  für AwF. Dabei gilt:  $i \in \mathbb{N}$ ,  $j \in \mathbb{N}$ ,  $k \in \mathbb{N}$ .



**Abbildung 1:** Entwickeltes Konzept für eine Datenmodellbewertung mit AwF, Datenmodellen und deren Anforderungen hinsichtlich der Eignung bei der BIM-Methode

Oben links in Abb. 1 ist Tab. I dargestellt, hier wird eine Fallunterscheidung durchgeführt. Dabei werden  $i$ -Datenmodelle überprüft, ob diese jeweils Anforderung  $j$  unterstützen oder nicht unterstützen. Unten links in Abb. 1 werden dieselben Anforderungen  $j$  wie in Tab. I mit  $\beta$  bewertet in Bezug auf den Bedarf der Anforderung  $j$  im jeweiligen AwF  $k$ . Die Gewichtung des Bedarfs kann variabel definiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die klassische Dreipunktregel, angelehnt an die Punkteverteilung im Fußball, gewählt. Die Bezeichnungen sind „irrelevant“, „wichtig“ oder „existenziell“.

## 2.3 Gegenüberstellung

Aus Tab. II wird mit der Klassifizierung in Abb. 1 der maximale Bedarf mit Hilfe einer Punktzahl von AwF  $k$  über alle Anforderungen je Datenmodell ermittelt. Die absolute Eignung  $\alpha_{ik}$  stellt die erreichte Punktzahl des Datenmodells über alle vom jeweiligen AwF benötigten (wichtige oder existenzielle) Anforderungen und dabei vom Datenmodell unterstützten Anforderungen dar. Es gilt, bspw. in dieser Arbeit wie in Tab. II, die Wertung 0, 1 und 3. Die Auswertung der  $i$ -Datenmodelle in Bezug auf  $k$ -AwF wird in Tab. III mit den zuvor ermittelten Werten mit einer Division aus dem maximalen Bedarf und der absoluten Eignung durchgeführt. Das entspricht einem prozentualen Wert  $P$  bzw. der relativen Eignung, die angibt, wie gut das Datenmodell den jeweiligen AwF abdeckt. Das Datenmodell eignet sich umfassend, wenn der Quotient 100 % ergibt. Der endgültige Mittelwert  $D_i$  in Abb. 1 ergibt sich aus dem Mittelwert aller benötigten  $k$ -AwF eines Datenmodells. Die  $k$ -AwF können mit einer Wertung  $w_k$  gewichtet werden. Für eine allgemeine Wertung in diesem Beitrag wird der Faktor  $w_k$  für alle AwF auf eins gesetzt.

### 3 Datenmodelle

Die Speicherung und der Austausch semantischer und geometrischer Informationen der Objekte wird mit Hilfe der Datenmodelle realisiert. Diese können in Datenmodelle mit geometrischen und semantisch-geometrischen Inhalten eingeteilt werden. Im Rahmen dieses Beitrags werden DXF und OBJ als Vertreter der geometrischen Datenmodelle und IFC2x3, IFC4x1 und CityGML als semantisch-geometrische Datenmodelle verwendet (siehe Tab. 1).

**Tabelle 1:** Allgemeine Informationen über die betrachteten Datenmodelle.

Format	Version	Veröffentlichungsjahr	Verantwortliche	nativ	ASCII	binär	XML	Zertifizierung	Dokumentation	Internationalität
DXF	2018	2018	Autodesk Inc.	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
OBJ	3.0	?	Wavefront Technologies	✓	✓	×/✓	×	×	✓	✓
IFC 2x3	2x3	2007	buildingSmart International Ltd.	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓
IFC 4x1	4x1	2018	buildingSmart International Ltd.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CityGML	2.0	2012	Open Geospatial Consortium Inc.	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓

Im Folgenden werden die Quellen der Datenmodelle aufgelistet:

- DXF: (Autodesk, 2018; Bracht et al., 2018; Heckner und Wirth, 2014; May, 2018; Safe Software, 2019)
- OBJ: (Heckner und Wirth, 2014; Murray und van Ryper, 2019; Victoria, 2016; Wavefront, 2019)
- IFC: (buildingSMART International Alliance for Interoperability, 2007; buildingSMART International Limited, 2018; buildingSMART International, 2019)
- CityGML: (Andrae et al., 2016; Coors et al., 2014; Gröger et al., 2012; Nejatbakhsh, 2017; Open Geospatial Consortium, 2019)

Die Datenmodelle unterstützen verschiedene Anforderungen (vgl. Kap. 2.1), diese können in semantische Anforderungen in Tab. 2 und in geometrische Anforderungen in Tab. 3 eingeteilt werden. Es wird der Bedarf der Anforderung im jeweiligen AwF beispielhaft für zwei AwF dargestellt. Diese sind AwF 3 Visualisierung und AwF 10 Kostenschätzung und Berechnung.

### 4 Ergebnisse und Diskussion

Je mehr für den AwF benötigte Anforderungen vom jeweiligen Datenmodell unterstützt werden, desto besser eignet sich das Datenmodell. In Tab. 4 wird das Ergebnis dargestellt.

**Tabelle 2:** Unterstützung (✓ ja, × nein) und Bedarf (++ existenziell, + wichtig, – irrelevant) der semantischen Anforderungen der Datenmodelle (vgl. Kap. 3).

Format	ind. Schemaerw.	ind. Attribute	räuml. für physische Elemente	Typisierung	Dokumentation von Bauleistungen	Mängelinformation	räuml. Beziehung der Entitäten	parametr. Abh.	Visualisierung	Mat./Farbeigensch.	4D-Planung	5D-Planung	Infrastruktur	DGM	Achse	Bahnsteig
DXF	×	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×
OBJ	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×
IFC 2x3	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
IFC 4x1	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
CityGML	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	×	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	×
AwF 3	–	–	–	–	–	–	–	–	++	++	–	–	–	–	–	–
AwF 10	–	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+

**Tabelle 3:** Unterstützung (✓ ja, × nein) und Bedarf (++ existenziell, + wichtig, – irrelevant) der geometrischen Anforderungen der Datenmodelle (vgl. Kap. 3).

Format	Kurven	Polylinie	Bézierkurve	NURBS	Achsengeometrie	Flächenmodell	Triang. Abb.	Volumenmodell explizit	BRep	Volumenmodell implizit	CSG	Extrusions- und Rotationsverfahren	Positionierung	Georeferenzierung	projektspezifisches Koordinatensyst.	Achsbezug
DXF	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×
OBJ	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×
IFC 2x3	✓	✓	✓	×	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓
IFC 4x1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CityGML	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×
AwF 3	+	+	+	++	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
AwF 10	+	+	+	++	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–

Die semantisch-geometrischen Datenmodelle IFC2x3, IFC4x1 und CityGML stellen sich als die besten Datenmodelle heraus über alle AwF. Das ist ein erwartetes Ergebnis, da die Datenmodelle neben geometrischen auch semantische Anforderungen abdecken. Bei den geometrischen Datenmodellen ist DXF im allgemeinen besser geeignet als OBJ.

Ein AwF, der bei der Analyse der verschiedenen AwF heraussticht, ist die Visualisierung. Es ist gut zu erkennen, dass die geometrischen Datenmodelle für diese Art der Anwendung ausgelegt sind, da diese den geometrisch orientierten AwF sehr gut erfüllen. Zwischen den einzelnen AwF existieren Synergien, bspw. erfüllen die Datenmodelle den AwF 7 Erstellung

**Tabelle 4:** Eignung der Datenformate im jeweiligen Anwendungsfall in [%].

Format	Anwendungsfall																				$\Sigma$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DXF	55	52	93	65	52	34	58	42	44	46	49	49	58	58	46	53	35	46	47	48	52
OBJ	35	33	93	43	39	26	50	33	44	34	31	34	40	50	30	44	26	36	33	41	40
IFC 2x3	55	65	67	70	65	72	50	58	52	74	74	79	75	50	74	56	58	59	61	48	63
IFC 4x1	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>85</b>	<b>88</b>	<b>78</b>	<b>74</b>	<b>97</b>	<b>95</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>88</b>	<b>93</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>72</b>	<b>88</b>
CityGML	70	63	67	76	87	45	67	61	67	57	51	49	73	67	43	69	48	56	61	66	62

von Entwurfs- und Genehmigungsplänen im gleichen Umfang wie AwF 14 Erstellung von Ausführungsplänen. Dies lässt sich auf die gleichen Anforderungen zurückführen, die an die AwF gestellt werden. Die Bewertung der Datenmodelle erfolgt in diesem Beitrag auf Grundlage der einzelnen Dokumentationen der Datenmodelle. Nur wenn die jeweilige Entität in der Dokumentation beschrieben ist, wird die Entität als unterstützt bewertet. Jedoch kann die Dokumentationsgrundlage unzureichend sein oder die Anforderung kann nicht eindeutig mit ja oder nein bewertet werden. Dies macht eine eindeutige Bewertung schwierig und erfordert eine detailliertere Unterteilung. Außerdem sind die Datenformate sehr komplex und es bedarf Einarbeitungszeit die Datenformate vollumfassend zu verstehen. IFC ist auf Grund vieler Entitäten unübersichtlich und es ist schwierig jede Entität zu berücksichtigen.

Je nach Projekt werden Anforderungen auf Grundlage der AwF und Datenmodelle getroffen. Je nach Anwendung oder Bedarf können diese jedoch variieren. Die Bedarfsbewertung der definierten Anforderungen bei den jeweiligen AwF basiert auf persönlicher Einschätzung und den jeweiligen Informationsanforderungen. Die Bewertung von 0,1 und 3 kann je nach Ziel der Studie verändert werden. Die Anforderungen könnten detailliertere Bahnsteig Entitäten beschreiben, da jedoch keines der Datenmodelle Bahnsteige in der Planung umfassend unterstützt, ist dies nicht aussagekräftig. Letztendlich lässt sich zusammenfassen, dass die Datenmodelle, AwF und Anforderungen je nach Informationsanforderungen verändert werden können. Mit Hilfe des entwickelten Konzeptes können weitere Analysen durchgeführt werden. Dabei können die Datenmodelle variieren und die AwF angepasst werden. Aus anderen Datenmodellen und AwF können neue Anforderungen resultieren. Außerdem kann der Bedarf der jeweiligen Anforderung im AwF je nach Projekt variieren.

## 5 Fazit

Das Ergebnis auf die Forschungsfrage, ob der Austausch von Bahnsteigrelevanten geometrischen und semantischen Entitäten mit der BIM-Methode möglich ist, muss verneint werden. Das liegt daran, dass die Datenmodelle nicht ausreichend sind. Das beste der untersuchten Datenmodelle ist IFC4x1, da dieses neben den geometrischen Anforderungen auch semantische abdeckt und am weitesten entwickelt ist. Wobei auch dieses keine Entitäten des Bahnsteiges besitzt. In der Weiterentwicklung von IFC sind mit IFCRail in der Version 5 Entitäten für die Bahnsteige vorgesehen. Mit der BIM-Methode sollte ein interoperabler Austausch zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten gewährleistet sein. Im Falle eines offenen,

detaillierten Standards, dass alle relevanten Anforderungen abdeckt, kann dies ermöglicht werden. Daraus kann ein sehr großer Nutzen im Verlauf des Projektes gezogen werden.

## Danksagung

Dieser Beitrag ist ein Auszug aus der Masterarbeit der Erstautorin. Sie dankt OBERMEYER Planen+Beraten GmbH für die hilfreichen Kommentare und Hinweise während des Schreibens sowie für die finanzielle Unterstützung dieser Publikation.

## Literatur

- Amann, J. und Borrmann, A. (2015), Open BIM for Infrastructure – mit OKSTRA und IFC Alignment zur internat. Standardisierung des Datenaustauschs, in 'Tagungsband zum 6. OKSTRA-Symposium'.
- Andrae, C., Coors, V. und Böhm, K.-H. (2016), *3D-Stadtmodelle: Konzepte und Anwendungen mit CityGML*, Wichmann Verlag, Berlin.
- Autodesk (2018), 'AutoCAD User's Guide'. 03.04.2019.  
**URL:** <http://help.autodesk.com/view/ACD/2018/ENU>
- BIM4INFRA2020 (2018), 'Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ AP 1.2 „Szenariendefinition“ und AP 1.3 „Empfehlung“'. 10.04.2019.  
**URL:** [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3\\_BIM4INFRA\\_Bericht-Stufenplan.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan.pdf)
- Borrmann, A., Amann, J., Chipman, T., Hyvärinen, J., Liebich, T., Muhič, S., Mol, L., Plume, J. und Scarponcini, P. (2017), 'IFC Infra Overall Architecture Project Documentation and Guidelines'.  
**URL:** [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/07/08\\_bSI\\_OverallArchitecture\\_Guidelines\\_final.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/07/08_bSI_OverallArchitecture_Guidelines_final.pdf)
- Borrmann, A. und Berkahn, V. (2015), Grundlagen der geometrischen modellierung, in A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, eds, 'Building Information Modeling', Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, pp. 25–41.
- Bracht, U., Geckler, D. und Wenzel, S. (2018), 'Datenmanagement und Softwarewerkzeugklassen'.
- Brüggemann, T. und von Both, P. (2015), 3D-Stadtmodellierung: CityGML, in A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, eds, 'Building Information Modeling', Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, pp. 177–192.
- buildingSMART International (2019), 'Technical Resources'. 10.04.2019.  
**URL:** <https://technical.buildingsmart.org/>
- buildingSMART International Alliance for Interoperability (2007), 'IFC2x3'. 09.04.2019.  
**URL:** <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/>
- buildingSMART International Limited (2018), 'Industry Foundation Classes 4.1.0.0'. 10.04.2019.  
**URL:** [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/)
- Coors, V., Gröger, G., Häfele, K.-H. und Casper, E. (2014), 'Handbuch für die Modellierung: Teil 1: Grundlagen (Regeln für valide GML Geometrie-Elemente in CityGML)'. 05.04.2019.  
**URL:** [https://files.sig3d.org/file/ag-qualitaet/201311\\_SIG3D\\_Modellierungshandbuch\\_Teil\\_1.pdf](https://files.sig3d.org/file/ag-qualitaet/201311_SIG3D_Modellierungshandbuch_Teil_1.pdf)

- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C. und Häfele, K.-H. (2012), ‘OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard’, (2.0.0). 04.02.2019.  
**URL:** <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>
- Heckner, H. und Wirth, M. (2014), ‘Vergleich von Dateiformaten für 3D-Modelle: CEDIFA Bericht 7’. 28.02.2019.  
**URL:** [http://cedifa.de/wp-content/uploads/2014/05/07\\_3D-Modell-Formate.pdf](http://cedifa.de/wp-content/uploads/2014/05/07_3D-Modell-Formate.pdf)
- Ji, Y. (2014), ‘Durchgängige Trassen- und Brückenplanung auf Basis eines integrierten parametrischen 3D-Infrastrukturbauwerksmodells’. 03.05.2019.  
**URL:** <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1224662/1224662.pdf>
- Markič, Š., Donaubaauer, A. und Borrmann, A. (2018), Enabling Geodetic Coordinate Reference Systems in Building Information Modeling for Infrastructure, in ‘Proceeding of the 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering’, Tampere, Finland.
- May, M. (2018), *CAFM-Handbuch: Digitalisierung im Facility-Management erfolgreich einsetzen*, 4. edn, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- McGlinn, K., Wagner, A., Pauwels, P., Bonsma, P., Kelly, P. und O’Sullivan, D. (2019), ‘Interlinking geospatial and building geometry with existing and developing standards on the web’, *Automation in Construction* **103**, 235–250.
- Murray, J. D. und van Ryper, W. (2019), ‘Wavefront OBJ File Format Summary’. 01.03.2019.  
**URL:** <http://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm>
- Nejatbakhsh, N. (2017), Interoperability of traffic infrastructure planning and geospatial information systems, PhD thesis, Technische Universität Dresden.
- Obergrießer, M. (2017), *Digitale Werkzeuge zur integrierten Infrastrukturbauwerksplanung*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Open Geospatial Consortium (2019), ‘Compliance navigation’. 05.04.2019.  
**URL:** <http://www.opengeospatial.org/resource/products/compliant>
- Safe Software (2019), ‘Autodesk AutoCAD DWG/DXF (ACAD) Geometry Support’. 25.03.2019.  
**URL:** [https://docs.safe.com/fme/html/FME\\_Desktop\\_Documentation/FME\\_ReadersWriters/acad/Geometry-Support-acad.htm](https://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_ReadersWriters/acad/Geometry-Support-acad.htm)
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2018), ‘VDI 2552-2:Building Information Modeling Begriffe,’.
- Victoria (2016), ‘The DWG File Specification’. 03.04.2019.  
**URL:** <https://www.scan2cad.com/dwg/file-spec/>
- Wallner, S. und von Both, P. (2017), BIM Tools Overview: Target group- and processoriented examination of free BIM tools, in A. Fioravanti, S. Cursi, S. Elahmar, S. Gargaro, G. Loffreda, G. Novembri und A. Trento, eds, ‘ShoCK! - Sharing of computable knowledge!’.
- Wavefront (2019), ‘B1. Object Files (.obj)’. 04.04.2019.  
**URL:** [http://www.cs.utah.edu/boulos/cs3505/obj\\_spec.pdf](http://www.cs.utah.edu/boulos/cs3505/obj_spec.pdf)
- Wolf, V. (2019), Entwicklung eines Konzeptes zur Bewertung digitaler Datenmodelle am Beispiel einer Bahnsteigplanung, Master’s thesis.
- Wu, C., Xu, B., Mao, C. und Li, X. (2017), ‘Overview of BIM Maturity measurement tools’.