Begleitung der internationalen Standardisierungsprojekte IFC-Road & IFC-Rail

Abschlussbericht AP4: Validierung des Datenmodells

Autoren:

André Borrmann, Sebastian Esser, Štefan Jaud (Technische Universität München),
Markus König (Ruhr-Universität Bochum),
Thomas Liebich (AEC3 Deutschland GmbH)

Datum: 30.04.2020

Mitwirkende der ARGE IFCINFRA

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation Technische Universität München	Prof. Dr.-Ing. André Borrmann Dr. Julian Amann Sebastian Esser, M.Sc. Štefan Jaud, M.Sc. Simon Vilgertshofer, M.Sc.
Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen Ruhr-Universität Bochum	Prof. Dr.-Ing. Markus König Maximilian Dichtl, M.Sc. Hannah Mattern, M.Sc.
AEC3 Deutschland GmbH, München	Dr.-Ing. Thomas Liebich Dr. Sergej Muhič

Inhalt

Aufgabenstellung und Zielsetzung 5

Zusammenfassung der Ergebnisse 6

Vorbemerkung zu den erläuterten Konzepten 6

1 Überblick 7

1.1 IFC-Road 7

1.2 IFC-Rail 8

1.3 Stand auf der Internationalen Ebene 8

1.4 Technologie und prototypische Implementierung des IFC-Road Entwurfs 9

2 Beispielmodelle und Validierung des IFC-Road Entwurfs 10

2.1 Beispiel 1: Bundesautobahn BAB 40, km 2+918 bis km 3+518 10

2.1.1 Geodätisches Referenzsystem 11

2.1.2 Straßenachse 11

2.1.3 Räumliche Struktur 13

2.1.4 Straßenaufbau 14

2.1.5 Geometrie 15

2.1.6 Streifen 16

2.1.7 Kombination mit Daten aus der Zustandserfassung und -bewertung 17

2.1.8 Merkmale 19

2.1.9 Fazit 19

2.2 Beispiel 2: Stadtstraße mit einer Kreuzung 21

2.2.1 Streifen 21

2.2.2 Kreuzung 22

2.2.3 Fahrbahnmarkierung 24

2.2.4 Fazit 25

2.3 Beispiel 3: BAB 99, Überführung über das Bauwerk 27-1 26

2.3.1 Geodätisches Referenzsystem 26

2.3.2 Räumliche Struktur 26

2.3.3 Physische Objekte 27

2.3.4 Geometrie 27

2.3.5 Fazit 28

3 Abgleich von nationalen Anforderungen mit der Anforderungsanalyse des internationalen IFC-Rail Projekts 29

3.1 Überblick über das internationale IFC-Rail Projekt 29

3.2 Abgleich des internationalen plattform-unabhängigen IFC-Rail Modells mit nationalen Initiativen 30

3.3 Einbringung der deutschen Anforderungen zur Abbildung der Gleisüberhöhung in das internationale IFC Rail Projekt 30
3.4 Fazit 32
4 Fazit 34
5 Quellen 34

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das von der internationalen Non-Profit Organisation buildingSMART entwickelte Datenformat Industry Foundation Classes (IFC), das dem herstellerneutralen Datenaustausch dient, wurde in den vergangenen Jahren im Rahmen von internationalen Projekten um Definitionen für den Tief- und Infrastrukturbau erweitert. Um eine möglichst gute Nutzbarkeit des erweiterten Datenmodells in Deutschland zu gewährleisten, wurde die ARGE IFCINFRA mit der Begleitung der internationalen Projekte „IFC-Rail“ sowie „IFC-Road“ beauftragt.

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die durchgeführte Validierung des auf internationaler Ebene entwickelten Datenmodells im Kontext nationaler Anforderungen zur modellgestützten Beschreibung von Straßen- und Schienenanlagen für Planung, Bau und Betrieb.

Das Erweiterungsprojekt IFC-Road wurde im Februar 2018 gestartet und unter finanzieller und personeller Beteiligung Schwedens, Finnlands, Frankreichs, Deutschlands und Südkoreas entsprechend des vorab vereinbarten Projektplans durchgeführt. Dieser wurde zeitlich weitgehend eingehalten. Wichtige Meilensteine waren die Veröffentlichung der Anforderungsanalyse, des Konzeptionellen Modells der IFC-Erweiterung und der technischen Definition der IFC-Schemaerweiterung. Alle Zwischenergebnisse wurden einem international besetzten Expert Panel vorgestellt und entsprechendes Feedback berücksichtigt.

Das Erweiterungsprojekt IFC-Rail wurde im Januar 2018 gestartet und unter finanzieller und personeller Beteiligung mehrerer großer Bahnunternehmen (unter anderem aus China, Frankreich, Italien, Schweiz, Schweden, anfangs auch Deutschland) entsprechend des vorab vereinbarten Projektplans durchgeführt. Das Projekt war infolge der zahlreichen zu berücksichtigen Domänen das größte und komplexeste IFC-Erweiterungsprojekt, das bislang durchgeführt wurde. In der ersten Phase des Projekts wurde ein umfangreiches konzeptionelles Modell erarbeitet und als Vor-Standard veröffentlicht. In der Folge wurde dieser Vor-Standard auf das bestehende IFC-Datenmodell abgebildet und fehlende Definitionen als Schemaerweiterung vorgeschlagen.

Alle Ausführungen in diesem Bericht beruhen auf dem Kenntnisstand im Dezember 2019. Nach derzeitigem Stand wird im Jahr 2020 ein Harmonisierungsprojekt zwischen den einzelnen Infrastruktur-Erweiterungsprojekten innerhalb buildingSMART International (bSI) durchgeführt. Dieser Schritt ist notwendig, um die domänenspezifischen Entwürfe der Teilprojekte „IFC-Road“, „IFC-Rail“, „IFC-Bridge“, „IFC-Tunnel“ und „IFC-Ports and Waterways“ zusammenzuführen, sodass ein gemeinsamer Entwurf entsteht, der die Grundlage für die nächste große Version IFC5 bilden wird. Die in diesem Bericht beschriebenen Validierungen beziehen sich auf die aktuell vorliegenden Erweiterungsvorschläge zu IFC-Road und IFC-Rail, die sich im Zuge des Harmonisierungsprozess noch leicht verändern können.

Ausführliche Informationen zu dem aktuellen Stand der Entwicklungen sind auf den Seiten von buildingSMART International zu finden: https://www.buildingsmart.org/

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der vorliegende Erweiterungsvorschlag des IFC-Road Projektes wurde durch prototypische Interoperabilitätstests anhand deutscher Infrastrukturdaten validiert, um die Anwendbarkeit des internationalen Standards in Deutschland sicherzustellen. Dazu wurden Beispieldatensätze, die typische Straßenbauvorhaben in Deutschland wiedergeben, im Format des IFC-Road-Vorschlags mithilfe der entwickelten Testsysteme erzeugt.

Da das IFC-Rail-Projekt noch keinen maschinenlesbaren Schemaentwurf veröffentlicht hat, konnten dessen Ergebnisse noch nicht prototypisch implementiert werden. Durch die Mitarbeit in den internationalen Projektteams konnten die Autoren allerdings bereits auf kritische Punkte in den Schemavorschlägen hinweisen, die nun innerhalb der internationalen Teams vor der Erstveröffentlichung des Schemas nochmal überarbeitet und verfeinert werden. Dazu zählen unter anderem die Abbildung von eisenbahnspezifischen Bauteilgruppen („ElementAssemblies“) sowie der Frage, welchen Einfluss die zusätzliche Abbildung der Gleisüberhöhung auf bestehende geometrische Repräsentationen im IFC-Datenmodell haben kann.

Es wurde zudem überprüft, ob die vorgeschlagenen Schemaerweiterungen eindeutig und widerspruchsfrei definiert wurden. Aufgedeckte Schwachstellen wurden in den Standardisierungsprozess eingebracht. Zur Validierung der bisherigen Ergebnisse des IFC-Rail Standards wurde ein erster Abgleich der finalisierten Dokumente mit den Ergebnissen der nationalen Projekte BIM4INFRA und BIM4RAIL vorgenommen. Eine vollständige Validierung der IFC-Rail Erweiterung ist erst möglich, wenn neben der Anforderungsanalyse auch eine implementierbare Schemaerweiterung im IFC-Format vorliegt.

Vorbemerkung zu den erläuterten Konzepten

Die in diesem Bericht erläuterten Konzepte basieren auf den Zwischenständen, die die internationalen Projekte IFC-Road und IFC-Rail bis Anfang 2020 veröffentlicht haben. Dabei handelt es sich zumeist um Vorschläge zur Erweiterung des Datenmodells, weshalb es im Rahmen der Harmonisierung zwischen den einzelnen Teilprojekten zu leichten Anpassungen in der Namensgebung einzelner Klassen und Konzepte kommen kann.

Finale Dokumente sind nach deren Veröffentlichung auf den Webseiten von buildingSMART International zu finden[1].

[1] https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/

1 Überblick

1.1 IFC-Road

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Straßenbeispielmodelle als Instanzen unter der Verwendung des IFC-Road Schemaentwurfs prototypisch entwickelt sowie maßgebliche Überlegungen durchgeführt, um die Anwendbarkeit des Datenmodells gegen reelle Anforderungen zu überprüfen.

Im Mittelpunkt stand die Überprüfung der folgenden Anforderungen:

- Beschreibung von Bauteilgeometrien typischer Straßentypen in Deutschland
- Beschreibung der Semantik von Straßenbauteilen bei in Deutschland üblichen Bauweisen
- Parametrische Anpassung und Erzeugen von Fachmodellen
- Definition von zusätzlichen in Deutschland relevanten Eigenschaften für einzelne Modellelemente
- Geometrische Verortung von zusätzlichen Informationen
- Umsetzung der Anforderungen der deutschen Regelwerke in Hinblick auf Objekttypen und Attribuierung (u.a. RAS, RAL)

Dafür wurden Modelle realer und fiktiver Straßenstrecken erstellt bzw. an den neuen IFC-Road-Entwurf durch Änderung in der semantischen Struktur oder der geometrischen Beschreibung angepasst. Ein Überblick über die Beispiele ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Tabelle zeigt den Namen des Beispielsmodells, den Modellnamen, sein Ursprung sowie den Unterabschnitt, in dem es detailliert beschrieben wird.

Tabelle 1: Überblick über die Straßenbeispielmodelle

Beispiel	Modellname	Quelle	Abschnitt
1	Bundesautobahn BAB 40	Landesbetrieb Straßenbau NRW km 2+918 bis km 3+518	Abschnitt 2.1
2	Städtische Straße mit Kreuzung	fiktiv	Abschnitt 2.2
3	Bundesautobahn BAB 99 über Rahmenbrücke	Autobahndirektion Südbayern / Konstruktionsgruppe Bauen Kempten A99, Bauwerk 27-1	Abschnitt 2.3

Neben den verschiedenen Straßentypen wurden folgende Anforderungen an Straßenmodelle berücksichtigt, die im IFC-Datenformat abgebildet werden sollen:

- Neue semantische Objekte
- Georeferenzierung
- achsbezogene Geometrie
- räumliche Strukturierung
- Gruppierung physischer Elemente

1.2 IFC-Rail

Das internationale IFC-Rail Projekt hat umfangreiche Ressourcen in die Erstellung eines so genannten „Plattform-unabhängigen Modells“ (engl. Platform Independent Model [PIM]) investiert. Die dort gesammelten Konzepte wurden im ersten Schritt unabhängig von existierenden IFC-Strukturen formuliert und im Herbst 2019 von bSI als Candidate Standard verabschiedet.

Im Gegensatz zu vorangegangenen Erweiterungsprojekten wie IfcAlignment oder IfcBridge wurde im Kontext von IFC-Rail noch keine spezifische IFC-basierte Schemaerweiterung als Bestandteil des *Candidate Standards* geliefert. Im nächsten Schritt werden nun die umfangreichen Anforderungen, die die verschiedenen Domänen des schienengebundenen Verkehrs an den modellbasierten Austausch gestellt haben, auf Konzepte des IFC-Datenmodells überführt und die eigentliche implementierbare Schemaerweiterung formuliert. Die Schemaerweiterung umfasst unter anderem das in EXPRESS formulierte Schema sowie die Schemadokumentation inklusive Property- und QuantitySets. Dieser Überführungsprozess dauerte bis zur Veröffentlichung dieses Berichts an, sodass noch keine abschließenden Ergebnisse diskutiert werden können. Nichtsdestotrotz ist die internationale Gemeinschaft bereits jetzt aufgerufen, die als *Candidate Standard* veröffentlichten Dokumente zu begutachten und Rückmeldungen sowie Fragen an das internationale Projektteam zu formulieren.

1.3 Stand auf der Internationalen Ebene

Das gemeinsame Ziel aller Teilprojekte auf internationaler Ebene ist ein gemeinsamer, harmonisierter Datenstandard, der in seiner nächsten Großversion auch wieder der ISO-Standardisierung zugeführt werden soll. Seit Juni 2019 wird zudem durch die vermehrte Zusammenarbeit der einzelnen Projekte versucht, die einzelnen Erweiterungsvorschläge zu harmonisieren, um am Ende wieder einen gemeinsamen Standard zu erzielen, der Konzepte für verschiedenste Anwendungsfälle quer durch alle Domänen bereitstellt.

Die Zielsetzung dieses Harmonisierungsprogramms ist es, Konzepte zu identifizieren, die für verschiedene Domänen und Verkehrsstrukturen benötigt werden und auf einem generischen Level zusammengefasst werden können. Diese Konzepte sollten folglich ausreichend allgemein und dennoch hinreichend spezifisch sein, um einerseits im Kontext verschiedener planerischer Anforderungen nutzbar zu sein, aber andererseits auch konkreten Anwendungsfällen einzelner Domänen zu genügen. Ein markantes Beispiel ist die Einführung einer Klasse *IfcSignal.* Die Anforderung der Informationsübertragung zwischen einer technischen Einrichtung und Person, die ein Fahrzeug steuert, existiert sowohl im Straßenverkehr als auch für Schienen- und Wasserwege. Die konkrete Ausgestaltung der geometrischen Repräsentation sowie notweniger semantischer Inhalte mag domänenspezifisch differieren. Dennoch ist es zielführend, eine solche Klasse im Kontext des sogenannten „Common Schemas“ zu diskutieren und als gemeinsames Element in das IFC-Schema zu integrieren. Unter „Common Schema“ werden alle domänen- und projektübergreifenden Initiativen verstanden, die versuchen, ähnliche Konzepte möglich generisch und dennoch ausreichend genau für die Verwendung spezifischer Anforderungen zu beschreiben.

An einigen Stellen zeichnet sich hingegen ab, dass für ähnliche Konzepte keine Harmonisierung erzielbar sein wird. An diesen Stellen ist es notwendig, dass stichhaltige und nachvollziehbare Dokumentationen formuliert werden, die es den Nutzern des finalen Datenstandards erlauben, das richtige beziehungsweise vorgesehene Konzept für ihr spezifisches Ingenieurproblem einzusetzen.

Genaue Ergebnisse des Harmonisierungsprozesses sind im Laufe des Jahres 2020 zu erwarten.

1.4 Technologie und prototypische Implementierung des IFC-Road Entwurfs

Das internationale IFC-Road-Projekt führt während der Entwicklung des Standards prototypische Implementierungen mit Softwareherstellern durch. Dies ermöglicht es Herstellern, schon bei der Konzeption der Datenmodellerweiterung Rückmeldungen zur Implementierbarkeit und möglichen Schwierigkeiten bei der Umsetzung des erweiterten Datenmodells zu geben. Gleichzeitig ist es das Ziel, internationale Referenzmodelle zu erstellen, die anderen Entwicklern später als Hilfestellung in der Schemadokumentation bereitgestellt werden können.

Aus Sicht der ARGE ist es sehr erfreulich, dass sich mehrere deutsche Firmen an der prototypischen Implementierung beteiligen. Ausführliche Informationen sowie eine Auflistung beteiligter Akteure lassen sich im internationalen Abschlussbericht zu „IFC-Road WP 5: Prototypical Implementation“ finden, der am Ende des IFC-Road-Projekts zusammen mit den übrigen Ergebnisdokumenten des internationalen Projekts an bSI übergeben wird. Diese werden im Anschluss öffentlich zugänglich gemacht werden.

Auch im internationalen IFC-Rail-Projekt wurde während des bSI-Summits in Peking (28. – 31.10.2019) ein Implementierungsprojekt für das Jahr 2020 angekündigt. Gesicherte Informationen zu den teilnehmenden Softwareunternehmen sowie zu den Zielen waren zum Zeitpunkt der Drucklegung des vorliegenden Berichts noch nicht verfügbar.

2 Beispielmodelle und Validierung des IFC-Road Entwurfs

Im Folgenden werden verschiedene Straßenbeispiele zu den vorgeschlagenen IFC-Road Erweiterungen erläutert. Eine Übersicht über die Beispiele befindet sich in Tabelle 1.

2.1 Beispiel 1: Bundesautobahn BAB 40, km 2+918 bis km 3+518

Das Beispiel stammt aus einem realen Bauvorhaben des Landesbetriebs Straßenbau NRW (Nordrhein-Westfalen), bei dem die Fahrbahninstandhaltung der Bundesautobahn BAB 40 durchgeführt worden ist. Das Projekt wurde als eines der Pilotvorhaben des Bundes von BIM4INFRA begleitet. Im Zuge der Bestandsmodellierung wurden BIM-Modelle erstellt, die eine Grundlage für die Validierung der vorgeschlagenen IFC-Erweiterungen bildeten.

Der ausgewählte Abschnitt der BAB 40 hat eine Länge von 600 m und reicht von km 2+918 bis km 3+518 (siehe Abbildung 1). Dieser befindet sich auf dem westlichen Teil der BAB 40 kurz vor der niederländischen Grenze.

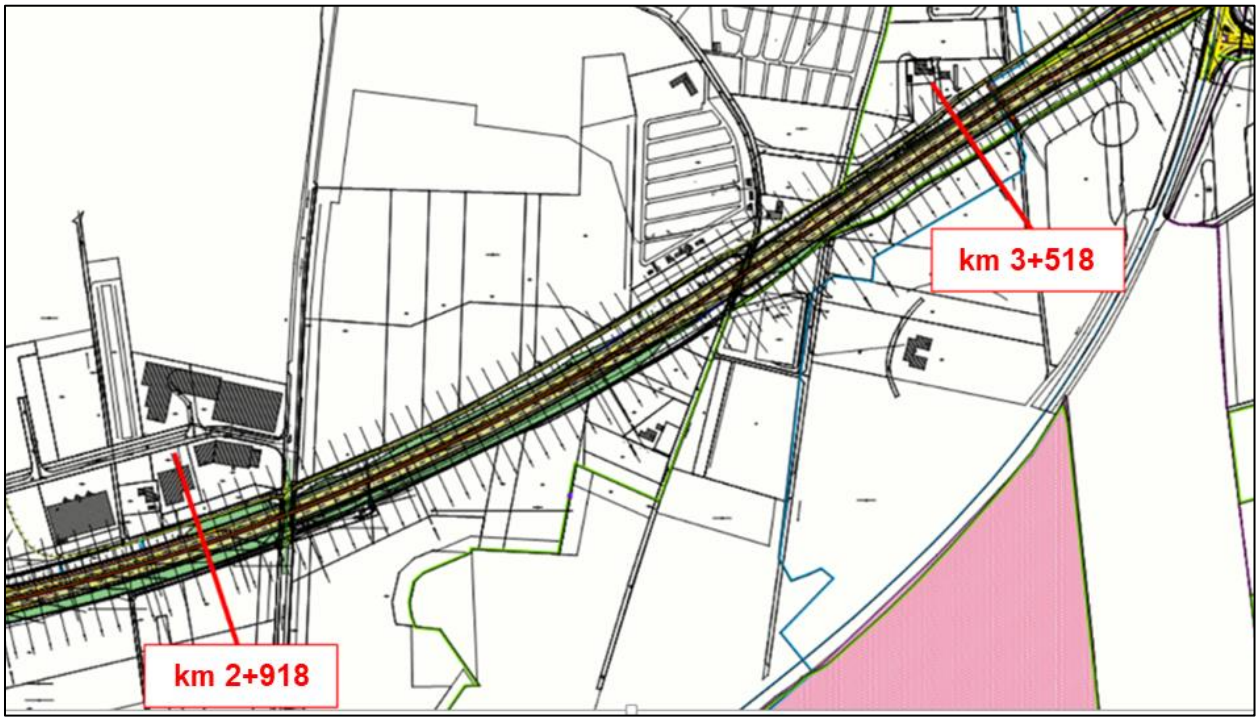

Abbildung 1: Ausgewählter Abschnitt der BAB 40 von Kilometer 2+918 bis 3+518 (eigene Abbildung).

Die Fahrbahnen sind mit der tatsächlichen Trassengeometrie und allen zugehörigen Schichten nachmodelliert worden. Die Bauweisen in diesem Abschnitt weisen einen Wechsel von Asphalt- und Betonbauweisen auf (siehe Abbildung 2). Die Aufbaudaten der Richtungsfahrbahnen sind ebenfalls nicht identisch. Durch diese vielen Unterschiede kann dieser relativ kurze reale Abschnitt eine große Vielfalt abdecken, die sich auch im digitalen Abbild widerspiegeln sollten.

Die Bestandsdaten des Straßenaufbaus wurden vom Landesbetrieb Straßenbau NRW zur Verfügung gestellt. Die verschiedenen Grundlagen liefern unterschiedliche Informationen bezüglich des Straßenaufbaus der BAB 40. Die Herausforderung für die Festlegung des Straßenaufbaus besteht darin, alle Informationen miteinander zu verknüpfen, um möglichst exakt die realen Aufbaubedingungen zu definieren.

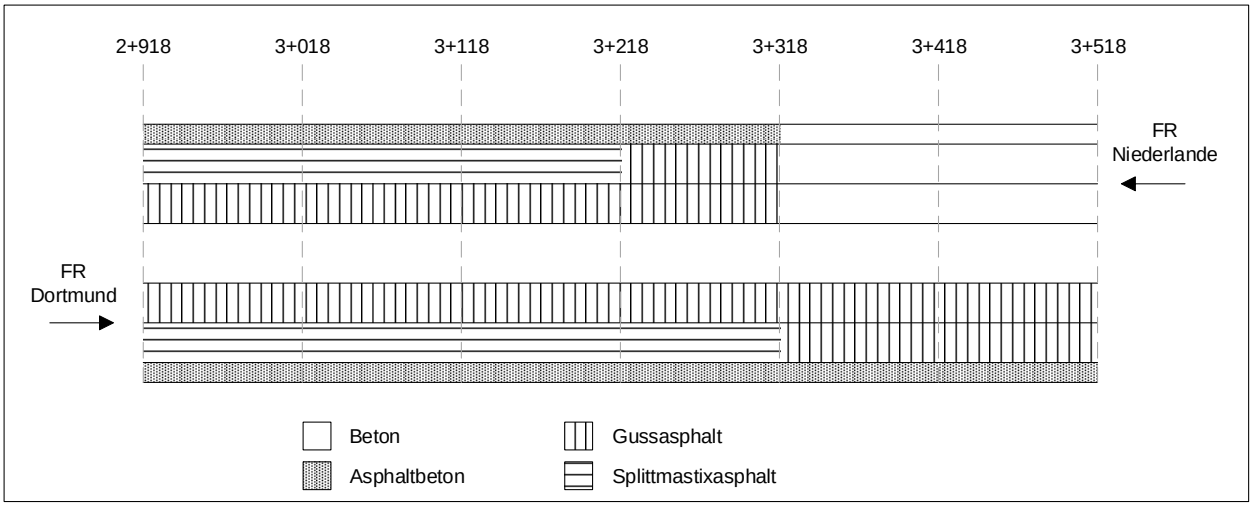

Abbildung 2: Bauweisen im ausgewählten Abschnitt (Daten von Landesbetrieb Straßenbau NRW).

2.1.1 Geodätisches Referenzsystem

Das Modell ist durch Verwendung des geodätischen Raumbezugs korrekt im Westen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen verortet. Dadurch beinhaltet das Modell ausreichende Informationen für die Absteckung oder andere geodätische Aktivitäten.

Im Modell wurden die erforderlichen Daten mithilfe der schon in IFC4 existierenden Entitäten *IfcProjectedCRS* und *IfcMapConversion* abgebildet. Die erste Entität beschreibt Informationen zum verwendeten Bezugssystem ETRS89 mit der Projektion Gauß-Krüger Zone 3 sowie den Höhenbezug zur Amsterdamer Pegelhöhe. Die zweite Entität definiert den Translationsvektor und die Rotation, mit denen das lokale Baustellenkoordinatensystem verortet wird (siehe Abbildung 3).

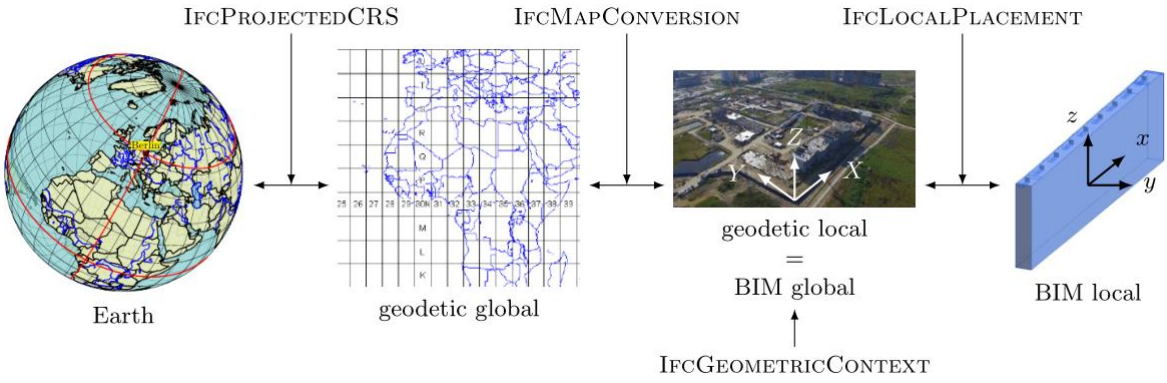

Abbildung 3: Raumbezug und die dafür benötigte Entitäten. IfcProjectedCRS beinhaltet Informationen zur geodätischen Abbildung und IfcMapConversion den Verschiebevektor und die Rotation zur Definition des lokalen Baustellenkoordinatensystems (Markič et al., 2018).

2.1.2 Straßenachse

Zur Beschreibung der Trassierung wird auf den IFC-Alignment Standard zurückgegriffen, der im Rahmen von IFC Version 4x1 veröffentlicht wurde (siehe Abbildung 4). Darin werden Achse und Gradiente als getrennte 2D-Kurven beschrieben, die durch Überlagerung die resultierende 3D-Kurve ergeben. Das IFC-Datenmodell setzt damit das weltweit etablierte Vorgehen bei der

Trassierung von Straßen um und folgt weitgehend den Prinzipien des OKSTRA-Subschemas S_Entwurf.

Ausgangspunkt ist die Klasse *IfcAlignment* (semantische Entität), die mit ihrem Attribut *Axis* auf die eigentliche geometrische Kurve vom Typ *IfcAlignmentCurve* verweist. Die Klasse *IfcAlignmentCurve* (Trassierungskurve) ist eine Spezialisierung der Klasse *IfcBoundedCurve*, deren Superklasse wiederum die allgemeine Kurve *IfcCurve* ist. Die *IfcAlignmentCurve* ist, wie im Straßenbau üblich, zweigeteilt: in Achse (*IfcAlignment2DHorizontal*) und Gradiente (*IfcAlignment2DVertical*). Beide Teile bestehen aus einer Aneinanderreihung von Segmenten (*IfcAlignment2DSegment*), deren Attribute die Geometrie genau definieren (wie Länge, Winkel, Startpunkt, Radien, Biegerichtung und ggf. Klothoidenparameter).

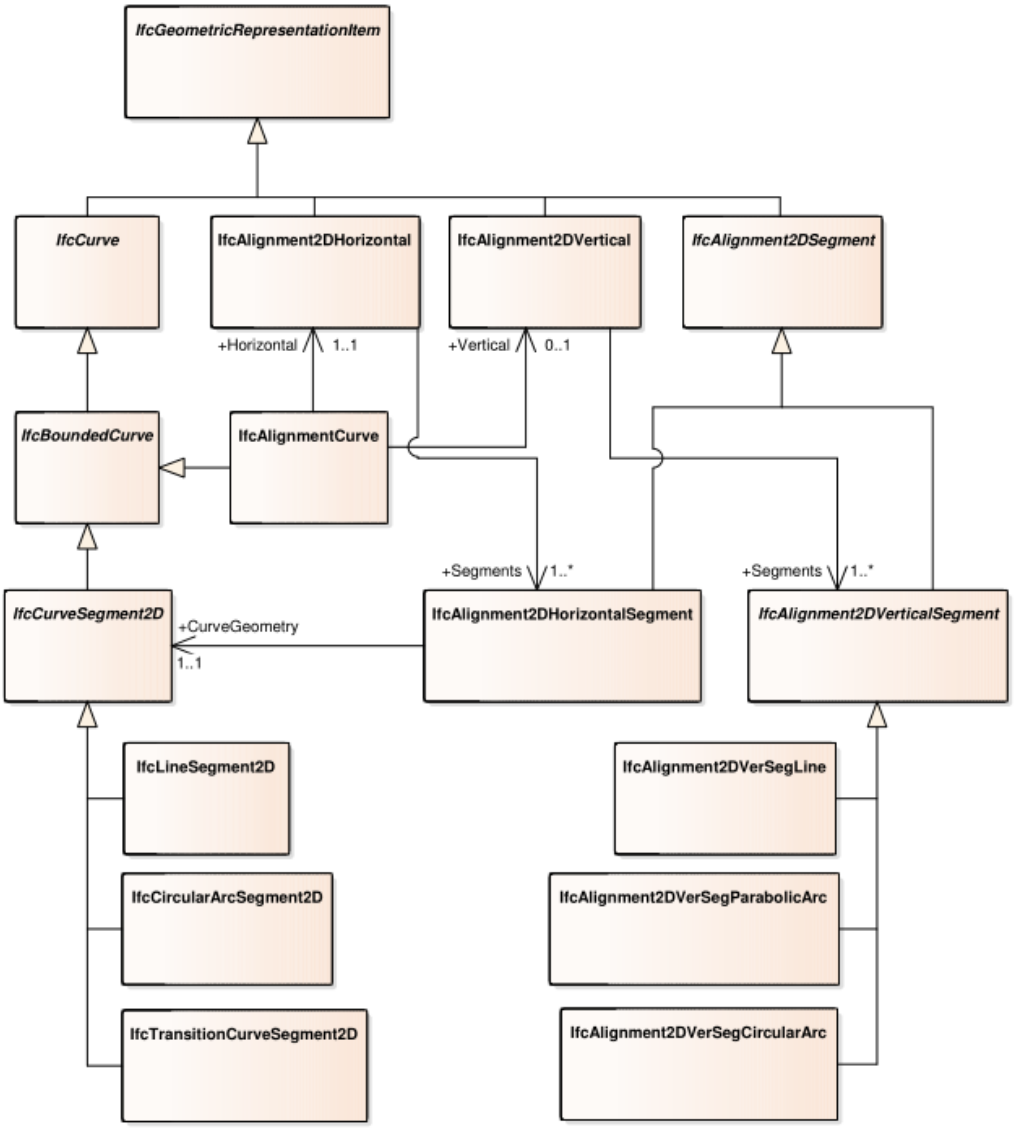

Abbildung 4: Modellierung der Geometrie von Achse und Gradiente mit IFC-Klassen (eigene Abbildung).

Die Bestandachse und Bestandgradiente wurden von dem Landesbetrieb NRW in OKSTRA Format an die ARGE übergeben. Sie wurden in Laufe der Überprüfung in das IFC Format überführt und in das Modell gespeichert. Abbildung 5 zeigt einen längeren Abschnitt der Achse (von km 0+000 bis km 18+248) zusammen mit eingezeichneten Gradientenzeigern an.

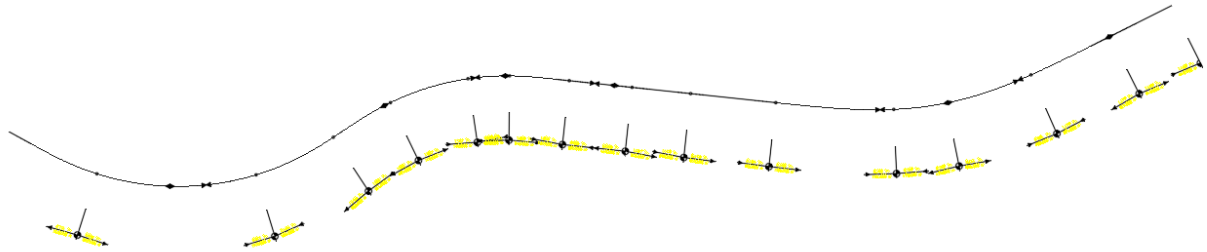

Abbildung 5: Die Achse mit eingezeichneten Gradiententrajektorien. Sie wurde als IfcAlignmentCurve mit entsprechenden Elementen in der Achse und Gradiente modelliert (eigene Abbildung).

2.1.3 Räumliche Struktur

Für die Beschreibung der Projektstruktur fand das Konzept der räumlichen Struktur des IFC Schema seine Verwendung. Das Gesamtprojekt und dazugehörige Baustelle wurden mit den schon in IFC4 vorhandenen Entitäten *IfcProject* und *IfcSite* modelliert (siehe Abbildung 6).

Die Straße ist mit einem räumlichen Container *IfcRoad* abgebildet. Dieser beinhaltet in der ersten Unterteilung zwei weitere *IfcRoad* Objekte, je Fahrtrichtung eines. Die Straßenabschnitte sind entlang jeder Fahrtrichtung unabhängig angeordnet, wobei die neu eingeführte Entität *IfcFacilityPart* Verwendung findet. Diese wurden mit den entsprechenden Werten für PredefinedType und UsageType ausgezeichnet, d.h. FREE_ROUTE und LONGITUDINAL.

Obwohl die räumliche Struktur lediglich eine hierarchische Sammlung logischer Behälter ohne geometrische Repräsentation[2] ist, bietet es sich an, die Projektstruktur in ähnlicher Form wie die geometrische Ausdehnung des Projekts aufzusetzen. Um die räumliche Ausdehnung und die Positionierung entlang der Straßenachse der einzelnen Abschnitte zu modellieren, fand die neue Entität *IfcSpanPlacement* Verwendung, die als Referenzsystem eine Raumkurve benötigt. In Straßenmodellen ist das die Entität *IfcAlignmentCurve*, die in Abschnitt 2.1.2 beschrieben ist. Somit könnten die Anfang- sowie die Endstation jedes einzelnen Abschnitts wiedergeben werden.

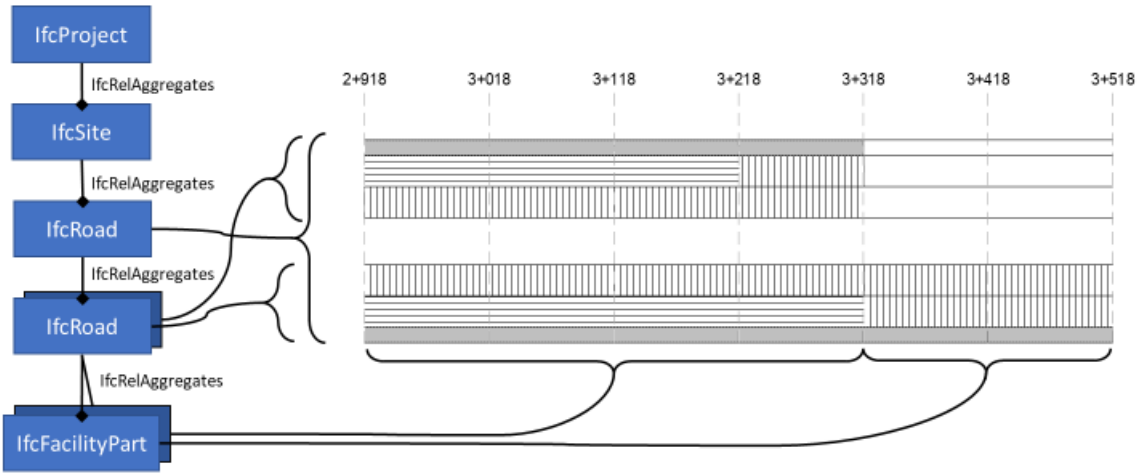

Abbildung 6: Räumliche Strukturierung entsprechend der Vorgaben des IfcRoad-Standards: Das Gesamtprojekt (IfcProject) beinhaltet eine Baustelle (IfcSite) und eine Straße (IfcRoad). Die setzt sich aus zwei Straßen (IfcRoad) zusammen, je Fahrrichtung eine. Jede der Fahrtrichtungen ist in mehrere voneinander unabhängige Abschnitte

[2] grundsätzlich möglich, aber unüblich

entlang der Straßenachse unterteilt (IfcFacilityPart mit UsageType LONGITUDINAL). (eigene Darstellung basierend auf Abbildung 2).

2.1.4 Straßenaufbau

Die Straßenaufbaudaten entlang der Kilometrierung von km 2+918 bis 3+518 können der Tabelle 2 für die Fahrtrichtung Niederlande und der Tabelle 3 für die Fahrtrichtung Dortmund entnommen werden. Diese wurden für die Nachmodellierung von Landesbetrieb Straßenbau NRW zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2: Straßenaufbau der BAB 40 in FR Niederlande für die Modellierung (erhalten von Landesbetrieb Straßenbau NRW).

	Kilometer 2+918 bis 3+118	**Kilometer 3+118 bis 3+218**	**Kilometer 3+200**	**Kilometer 3+218 bis 3+318**	**Kilometer 3+318 bis 3+418**	**Kilometer 3+418 bis 3+518**
Stand-streifen	3,5 cm Asphaltbeton 0/11 S 8,5 cm Asphaltbinderschicht 0/22 6 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht			3,5 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht - Asphalttragschicht 4 cm Ausgleichsschicht	3,5 cm Asphaltbeton 0/11 S 8,5 cm Asphaltbinderschicht 0/22 6 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht	
1. Fahr-streifen	3,5 cm Splittmastixasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 7 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung		3,5 cm Asphaltdeckschicht 9,8 cm Asphalttragschicht 14,4 cm Asphalttragschicht Bohrkern	3,5 cm Gussasphalt 10,0 cm Asphaltbinderschicht 10,5 cm Asphalttragschicht 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung	3,5 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 7 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung	
2. Fahr-streifen	3,5 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 7 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung			3,5 cm Gussasphalt 10,0 cm Asphaltbinderschicht 10,5 cm Asphalttragschicht 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung	3,5 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 7 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung	

Tabelle 3: Straßenaufbau der BAB 40 in FR Dortmund für die Modellierung (erhalten von Landesbetrieb Straßenbau NRW).

	Kilometer 2+918 bis 3+118	**Kilometer 3+118 bis 3+218**	**Kilometer 3+218 bis 3+318**	**Kilometer 3+300**	**Kilometer 3+318 bis 3+418**	**Kiloemeter 3+418 bis 3+518**
Stand-streifen	3,5 cm Asphaltbeton 8,5 cm Asphaltbinderschicht 0/22 6 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht				5 cm Oberbeton / Grauwacke 0/16 17 cm Stahlfaserbeton / Geotextilvlies 15 cm Hydraulisch gebundene Tragschicht 15 cm Frostschutzschicht	
1. Fahr-streifen	4,0 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 6 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung			3,9 cm Asphaltdeckschicht 5,4 cm Asphaltbinderschicht 6,3 cm Asphalttragschicht 16 cm Asphalttragschicht Bohrkern	5 cm Oberbeton / Grauwacke 0/16 17 cm Stahlfaserbeton / Geotextilvlies 15 cm Frostschutzschicht	
2. Fahr-streifen	4,0 cm Gussasphalt 8,5 cm Asphaltbinderschicht 6 cm Asphalttragschicht CS 4 cm Ausgleichsschicht - Betondecke entspannt 15 cm Teervermörtelung				5 cm Oberbeton / Grauwacke 0/16 17 cm Stahlfaserbeton / Geotextilvlies 15 cm Frostschutzschicht	

Für die Modellierung der Aufbauschichten fand die neue Entität *IfcCourse* Verwendung (siehe Abbildung 7). Die Geometrien wurden mit einfachen tessellierten Körpern übernommen. Die Funktion einzelner Schichten kann mithilfe vordefinierter Typen (PredefinedType) festgelegt werden (BEARING für Tragschichten oder WEARING für Deckschichten). Andere Eigenschaften konnten mit schon vorhandenen Entitäten modelliert werden. So wurde zum Beispiel das Material über die Beziehung *IfcRelAssociatesMaterial* jeder Schicht zugewiesen.

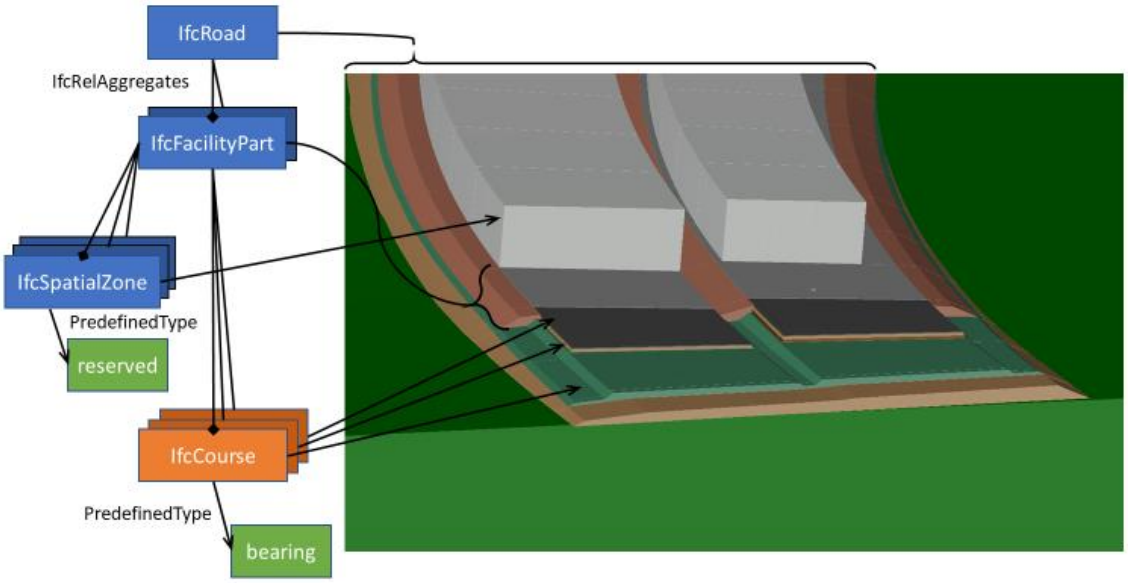

Abbildung 7: Aufbau der Straße (IfcRoad) setzt sich aus mehreren Schichten zusammen (IfcCourse). Die können mit PredefinedType näher spezialisiert werden, zum Beispiel BEARING für eine Tragschicht oder WEARING für eine Deckschicht. Näheres können auch Streifen und damit verbundene Lichtraumprofile mittels IfcSpatialZone mit PredefinedType RESERVED modelliert werden (eigene Abbildung).

2.1.5 Geometrie

Das Modell weist einen gekrümmten Verlauf in Lageplan sowie Gradiente aus. Abbildung 8 stellt eine schematische Darstellung des Koordinatensystems eines Straßenquerprofils sowie dessen geometrischer Beschreibung dar. Dafür werden Werte wie Von- und Bis-Station sowie der Abstand links und rechts der Achse benötigt. Dadurch kann die Straßengeometrie statt durch eine facettierte Oberflächenbeschreibung (*IfcFacetedBrep*) durch die Extrusion eines Querprofils entlang einer Straßenachse beschrieben werden.

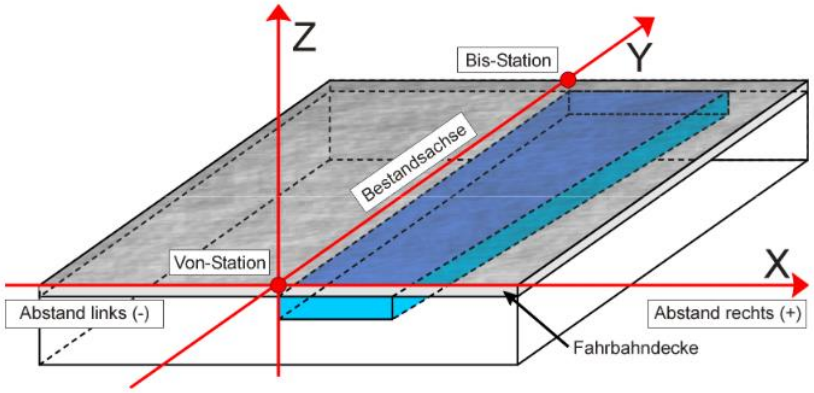

Abbildung 8: Das Koordinatensystem und die dafür benötigte Werte zur parametrischen Beschreibung eines Straßenquerprofils (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2014).

Dies ist mit den Entitäten *IfcAlignmentCurve*, *IfcOffsetCurveByDistances* sowie *IfcSectionedSolidHorizontal* ab der IFC Version 4x1 möglich. Die Entität *IfcAlignmentCurve* beschreibt die geometrischen Eigenschaften einer Achse in ihrer Lage sowie ihrer Gradiente (siehe Kapitel 2.1.2). Sie dient als die Raumkurve, entlang der die Schichten extrudiert werden können.

Dafür kann die Entität *IfcSectionedSolidHorizontal* zum Einsatz kommen wie in der Abbildung 9 gezeigt. Die Extrusionsachse kann durch die Angabe einer *IfcAlignmentCurve* in *Directrix* Attribut festgelegt werden. Die Straßenprofile werden durch mehrere Listen von Punkten (*IfcCartesianPointList2D*) angegeben und bilden die geschlossenen Profile (*IfcArbitraryClosedProfileDef*). Diese werden mithilfe von *IfcDistanceExpression* entlang der Achse genau positioniert.

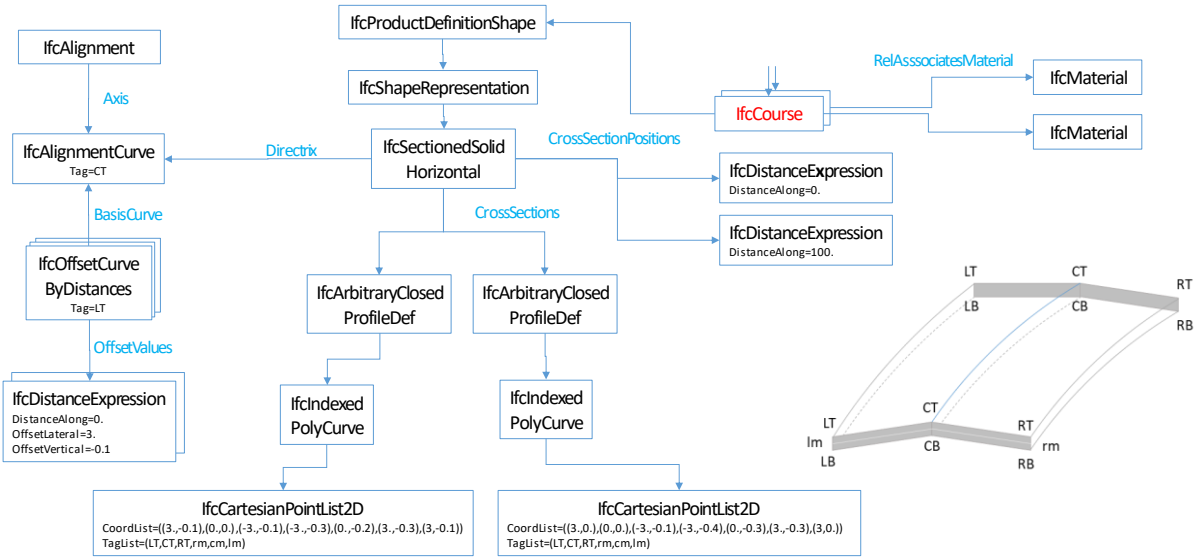

Abbildung 9: Beschreibung des Straßenkörpers mithilfe von impliziten Volumenelementen für die einzelnen Straßenschichten (IFC Road Project, 2020).

2.1.6 Streifen

Die Straße weist eine für Deutschland übliche Bauweise für Autobahnen auf: Es sind zwei Fahrstreifen zuzüglich eines Standstreifens je Fahrtrichtung angeordnet (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3). Da die einzelnen Streifen aber kein physisches Element sind, wurde für sie keine neue semantische IFC-Entität eingeführt, sondern können die Streifen mithilfe der räumlichen Struktur beschrieben werden. Trotzdem können die mit den Streifen verbundene Lichtraumprofile im IFC abgebildet werden, indem sie mithilfe räumlichen Platzhalter *IfcSpatialZone* mit PredefinedType RESERVED modelliert werden (siehe Abbildung 7Abbildung 7). Für deren Geometrie kann die geometrische Beschreibung aus Abschnitt 2.1.5 verwendet werden.

Die Fahrstreifen definieren im Straßenbau üblich die Geometrie der Straßenoberfläche und werden mit deren Breiten und Querneigungen beschrieben. Zur Abbildung dieses Sachverhaltes beinhaltet der IFC-Road Entwurf eine neue geometrische Repräsentation, die sehr ähnlich zu dem im Zuge von IFC-Bridge entwickelten *IfcSectionedSolidHorizontal* ist (siehe Abbildung 9 und Kapitel 2.1.5). Die Entität *IfcSectionedSurface* bietet die Möglichkeit, offene Straßenquerprofile (*IfcOpenCrossProfileDef*) entlang einer Straßenachse (*IfcAlignmentCurve*) zu positionieren (mithilfe von *IfcDistanceExpression*). Diese Querprofile können durch die Verwendung der Beziehung *IfcRelAssociatesProfileDef* den Straßenabschnitten oder Schichten zugewiesen werden (Abbildung 10).

Die Fahrstreifen für jede Fahrtrichtung konnten mittels einer am Markt etablierten Software nachmodelliert werden, wie in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt. Wie in Abbildung 10

skizziert, können Querprofile linke und rechte Querneigungen sowie unterschiedliche Breiten aufweisen. Diese können sich in aufeinanderfolgenden Querprofile beliebig ändern.

Abbildung 11 zeigt einen Fall, bei dem eine neue Linksabbiegespur zwischen zwei Richtungsfahrbahnen eingefügt wird. Im Querprofil 2 (*CrossSection[2]*) wurde ein neuer Streifen mit Breite null erzeugt (*Width[2] = 0*). Die Breite kann dann in dem darauffolgenden Streifen auf die volle Breite entlang der Straßenachse (*directrix*) linear verzogen werden.

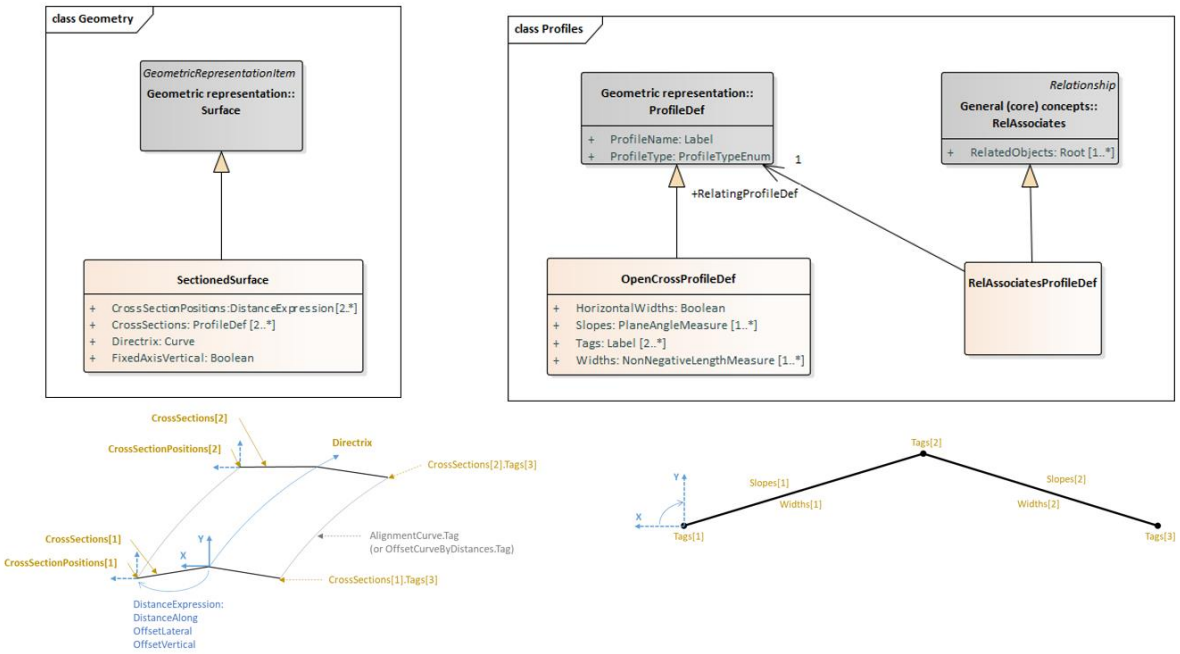

Abbildung 10: Beschreibung der Straßenstreifen mithilfe von impliziten Flächenelementen IfcSectionedSurface für die einzelnen Straßenquerprofile IfcOpenCrossProfileDef (IFC Road Project, 2020).

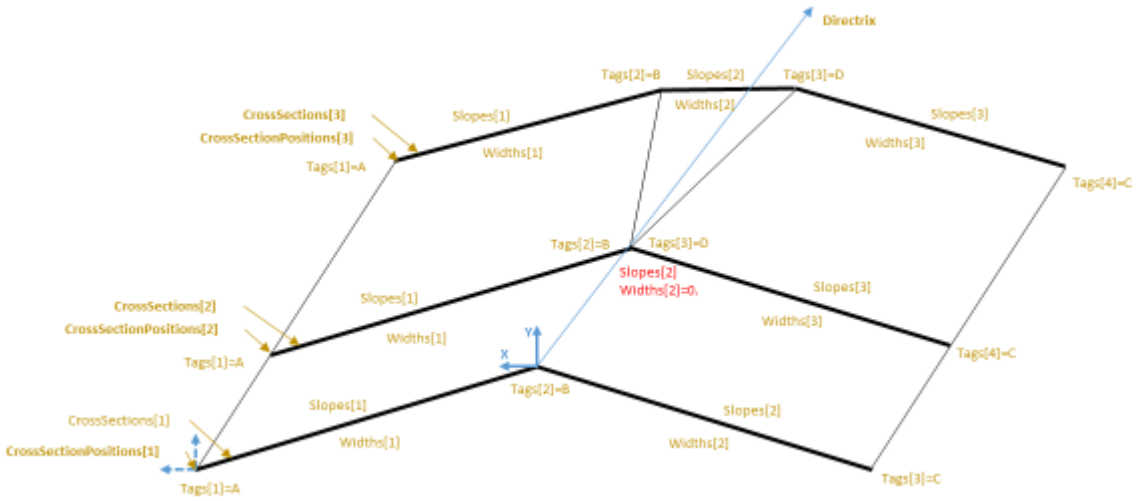

Abbildung 11: Das Einfügen eines neuen Streifens erfolgt mit einer Verdoppelung des Punkts (dargestellt in rot) (IFC Road Project, 2020).

2.1.7 Kombination mit Daten aus der Zustandserfassung und -bewertung

Für den Betrieb und die Instandhaltung von Straßenanlagen ist die Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) von essenzieller Bedeutung. Die hierbei erfassten Daten lassen sich

sehr gut in IFC-Modelle integrieren. Dieser Abschnitt zeigt, wie die Verwendung von IFC-Road für diesen Zweck genau aussehen kann.

Im Folgenden wird der Umgang mit ZEB-Daten im Rahmen des vorgeschlagenen Datenmodells an einem Beispiel erklärt (siehe Abbildung 12). Die räumlichen Elemente sind in blauer Farbe dargestellt, physische Objekte in orange, Properties in Gelb und Typen in grün. Es wird davon ausgegangen, dass die 3D-Geometrie der Schichten vorliegt. Sie kann z.B. mittels *IfcSectionedSolidHorizontal* oder *IfcFacetedBrep* modelliert werden (siehe Abschnitt 2.1.5).

Im Rahmen eines ZEB-Ereignisses (*IfcProcess*) wurde eine Straße (*IfcRoad*) erfasst. Sie ist in mehreren Abschnitten aufgeteilt (*IfcFacilityPart*), die im Wesentlichen die einzelnen Fahrtrichtungen repräsentieren. Es ist aber genauso möglich, zwei benachbarte Fahrrichtungen separat zu betrachten (siehe Abschnitt 2.1.3). Diese Abschnitte können zur Abbildung der ZEB-Daten jeweils mit ZEB-spezifischen *IfcPropertySets* versehen werden, um Typ der Messung, Zeitraum sowie die verantwortlichen Stellen zu hinterlegen.

Die Abschnitte können weiter in kleinere Teile geschnitten werden (*IfcSpatialZone*), die unter anderem einem Querschnittstreifen entsprechen können (siehe Abschnitt 2.1.6). Diesen werden die eigentlichen ZEB-Informationen zugeordneten, wie die ermittelte Rauigkeit oder andere gemessene oder berechnete Werte. Hierfür können speziell dafür entwickelte *IfcPropertySets* zum Einsatz kommen.

Die Zonen können zudem als Container für physische Objekte dienen, die im Rahmen der ZEB-Kampagne identifiziert worden sind. Liegt beispielsweise in einem Abschnitt ein Schlagloch, kann dieses als *IfcVoidingElement* mit PredefinedType HOLE modelliert werden. Dieses kann weiterhin eine Geometrie haben und positioniert werden sowie Properties und Bezüge zu anderen Objekten aufweisen. Auf die gleiche Weise können aufgenommene Bohrproben in der räumlichen Struktur verortet werden, indem sie mittels *IfcBorehole* mit zugewiesenen Materialeigenschaften modelliert werden.

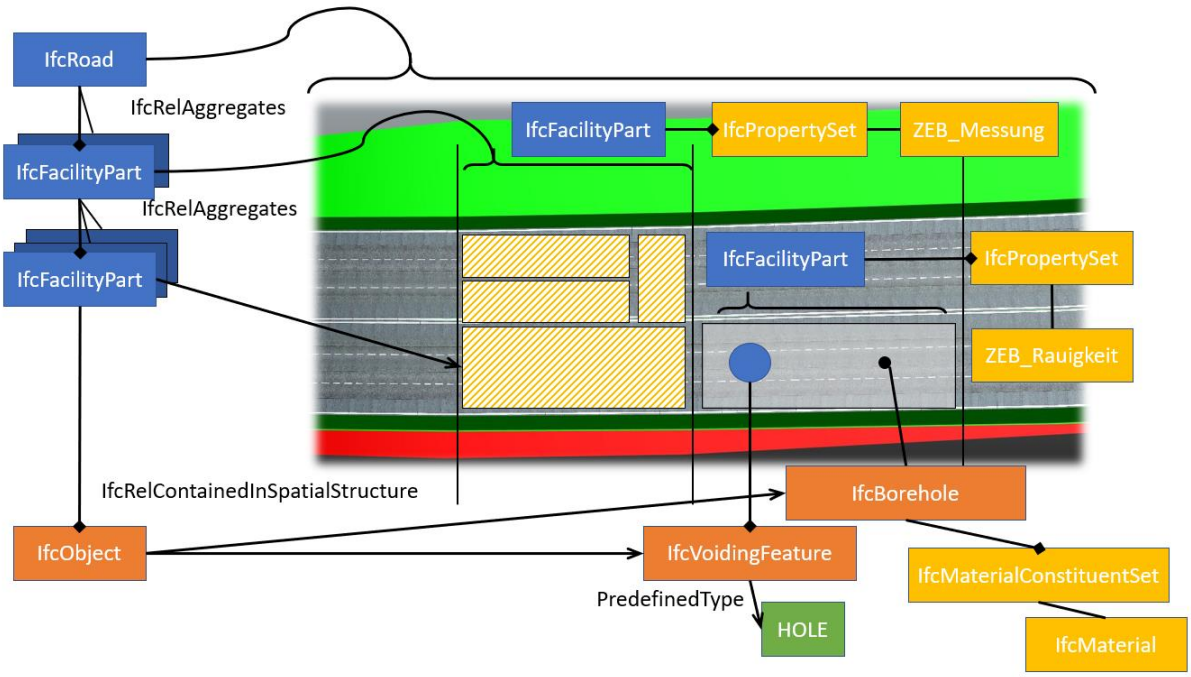

Abbildung 12: Beispiel eines Aufbaus der Daten einer ZEB Messung (eigene Darstellung).

Die räumliche Struktur und die Anzahl der physischen Objekte kann beliebig verdichtet oder vereinfacht werden. Ebenso können diese durch Angabe des Zeitraums und Verfassers mit Metadaten versehen werden, die im weiteren Verlauf des Erhaltungsmanagements zusätzliche Informationen liefern können.

2.1.8 Merkmale

Das Modell wurde entsprechend der Vorgaben der Landesbetriebs Straßenbau NRW mit zusätzlichen Merkmalen (Properties) ergänzt, um die spezifischen Anforderungen der deutschen Bauverwaltung an digitale Straßenmodelle abzubilden. Die Anforderungen wurden mithilfe einer Typ- und Attributtabelle (TAT) festgelegt, in der jedem Bauteiltyp eine entsprechende Menge von Attributen bzw. Merkmalen zugeordnet wurde.

Im IFC-Modell wurde diese Zuordnung mithilfe des flexiblen *IfcPropertySet*-Mechanismus umgesetzt, der die dynamische Erweiterung des IFC-Datenmodells um Merkmale eines Auftraggebers erlaubt. Im konkreten Fall des hier diskutierten Beispiels wurden die zusätzlichen Merkmale in mehrere *IfcPropertySet*-s zusammengefasst. Abbildung 13 zeigt als Beispiel die Merkmale des Bindemittels, die einer Deckschicht zugeordnet worden sind. Dieser Mechanismus ist bereits in vorangegangenen Versionen von IFC verfügbar gewesen und stellt keine Neuerung des IFC-Road Standards dar.

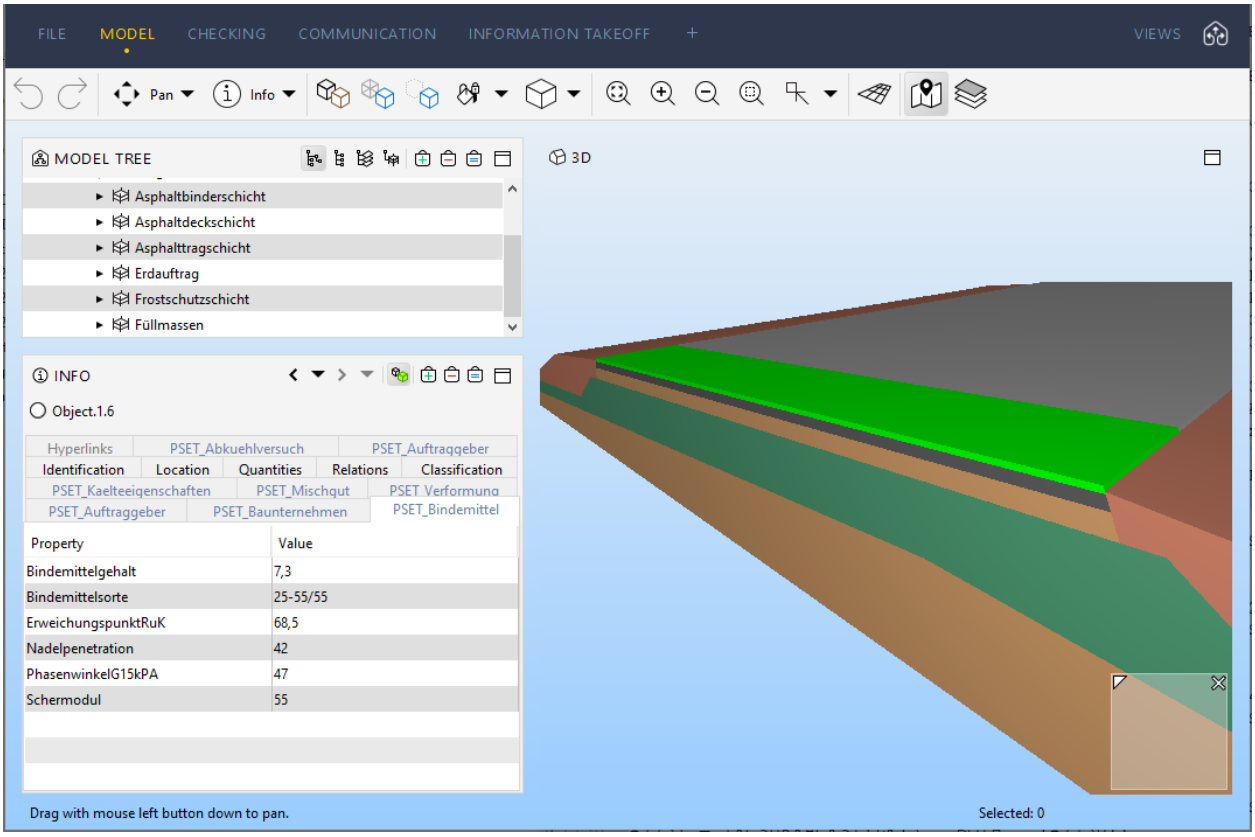

Abbildung 13: IfcPropertySet zu den Bindemitteleigenschaften der Asphaltdeckschicht (eigene Darstellung).

2.1.9 Fazit

Mit diesem Beispiel konnte gezeigt werden, dass der vorgeschlagene IFC-Road Standard in Deutschland gut eingesetzt werden kann. Die bisher üblichen Platzhalterobjekte vom Typ *IfcBuildingElementProxy* konnten nahezu vollständig durch semantisch höherwertige Objekte

ersetzt werden. Eine Schlüsselrolle bilden dabei die neu eingeführte Entität *IfcCourse* und viele PredefinedTypes, die mit dem neuen Standard nun bei schon existierenden Entitäten zur Verfügung stehen.

Da die räumliche Struktur in der neuen Schemaerweiterung sehr flexibel gestaltet wurde, können auch anders strukturierte Straßenmodelle ausreichend detailliert abgebildet werden. So kann zum Beispiel eine Straße in nur einen oder mehreren unterschiedlich lange Straßenabschnitte unterteilt werden. Genauso können separate Straßenkörper auch getrennt in der Querrichtung behandelt werden.

Die geometrische Repräsentation des Straßenkörpers kann mithilfe impliziter Beschreibungen erfolgen, wobei ein veränderbares Querprofil entlang einer Straßenachse extrudiert wird. Dadurch können viele Entwurfsparameter innerhalb eines Datenaustauschszenarios zwischen Projektbeteiligten ausgetauscht werden. Daraus können geometrisch wie semantisch höherwertigere Modelle erzeugt werden, die zahlreichen Anwendungsfällen genügen können.

Gleichzeitig konnte mit dem Modellierungsbeispiel unmittelbar Einfluss auf die Gestaltung des internationalen Standards genommen werden. Unter anderem wurde von dem internationalen Team sichergestellt, dass die in Deutschland übliche Beschreibung der Straßengeometrie, die auch in OKSTRA hinterlegt ist, auch in den neuen IFC-Road Standardentwurf wiederspiegelt ist (siehe Abschnitt 2.1.6).

2.2 Beispiel 2: Stadtstraße mit einer Kreuzung

Das fiktive Beispiel dient einer Veranschaulichung städtischer Verhältnisse. Es weist mehrere Elemente einer Stadtstraßen aus, die im Rahmen der Überprüfung in das neue IFC Schemaerweiterung übertragen wurden. Die Abbildung 14 zeigt eine Übersicht über das Beispielmodell.

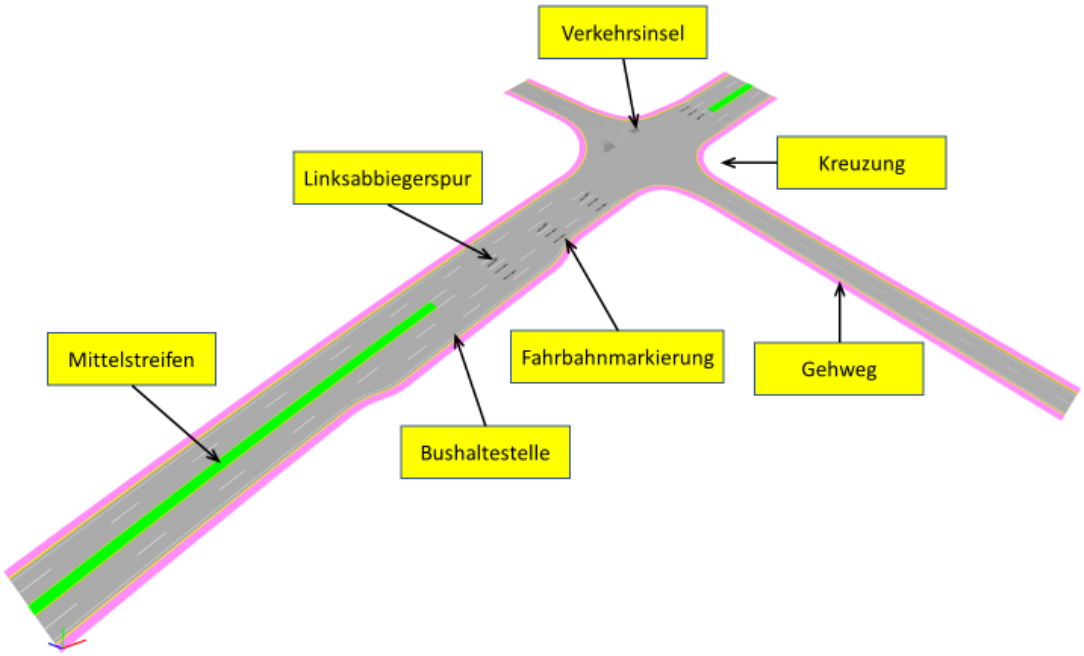

Abbildung 14: Eine Übersicht über das fiktive Beispiel einer städtischen Kreuzung mit eingezeichneten Komponenten (eigene Abbildung).

Da das Beispiel 1 (Abschnitt 2.1) schon viele Konzepte des Straßenbaus abgedeckt hat, wird in folgenden Abschnitten nun auf die Besonderheiten einer innerstädtischen Kreuzungssituation eingegangen. Folgende Konzepte können analog zu den vorherigen Beispielen angewendet werden und werden daher in diesem Abschnitt nicht weiter thematisiert:

- Geodätischer Referenzsystem (Abschnitt 2.1.1),
- Achsen und Gradienten (Abschnitt 2.1.2),
- Straßenaufbau (Abschnitt 2.1.4),
- Geometrie (Abschnitt 2.1.5),
- Zustandserfassung (Abschnitt 2.1.7) und
- Merkmale (Abschnitt 2.1.8).

Die hier beschriebenen Besonderheiten sind in Abbildung 14 hervorgehoben und in folgenden Abschnitten detailliert behandelt.

2.2.1 Streifen

Neben den schon im Abschnitt 2.1.6 behandelten Streifenarten (Fahrstreifen) beinhaltet das fiktive Beispiel vier besondere Streifenarten: einen (grünen) Mittelstreifen, eine Busbucht, den Gehweg sowie eine Linksabbiegespur. Alle kommen in einer städtischen Umgebung oft vor und wurden deswegen von der ARGE in das Modell aufgenommen.

Die semantische Bezeichnung der verschiedenen Streifen erfolgt über die Wahl passender PredefinedType der Entität IfcFacilityPart für die laterale Zerlegung des Straßenraums. Die

Möglichkeiten aus dem IFC Road Entwurf können der Abbildung 15 entnommen werden. Für das Beispiel relevanten Typen sind CARRIAGEWAY bzw. TRAFFICLANE für die Fahrstreifen, CENTRALRESERVE für den mittleren Streifen, BUS_STOP für die Bushaltestelle und SIDEWALK für den Gehweg.

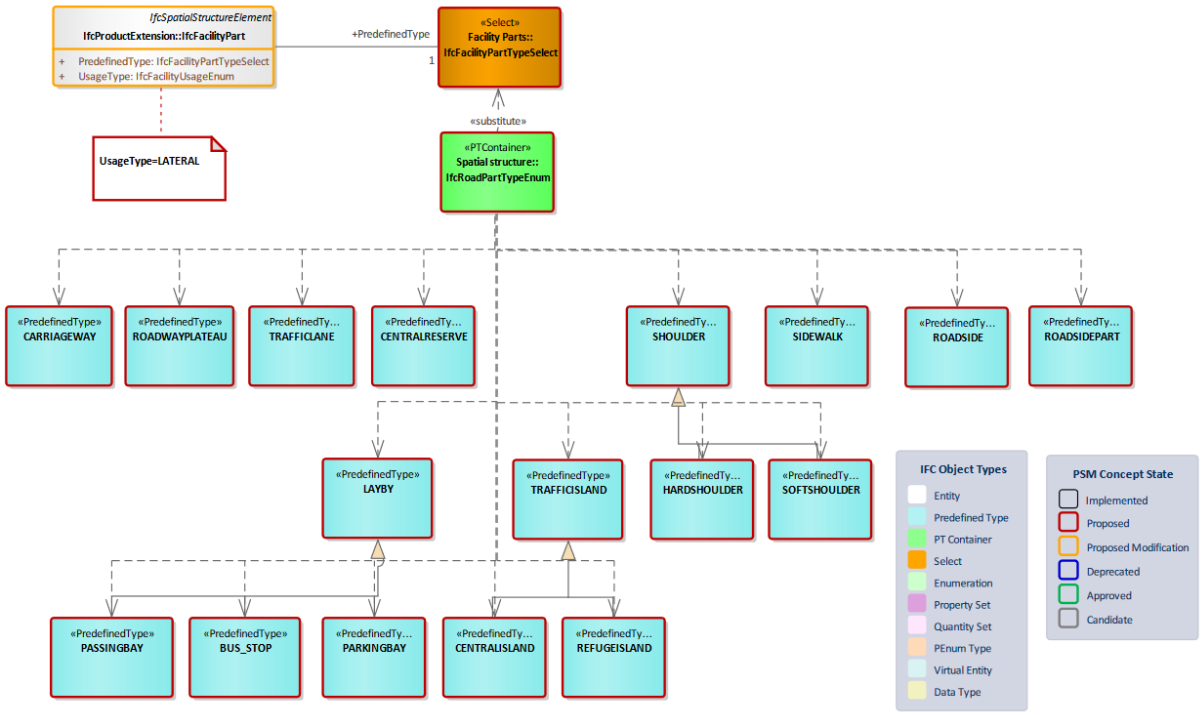

Abbildung 15: Die möglichen Werten für PredefinedType einer IfcFacilityPart mit UsageType LATERAL (IFC Road Project, 2020).

Die Geometrien der Bus- sowie die Linksabbiegespur können mithilfe des im Abschnitt 2.1.5 beschriebenen Konzeptes abgebildet werden. Die Busspur fängt am Straßenrand mit einer Breite b=0 m an und wird durch eine S-förmige Kurve auf volle Breite von b=3 m erweitert. Ähnlich endet der mittlere Grünstreifen und wird durch den Linksabbiegestreifen ersetzt. Solche Vorkommnisse sind oft in städtischen Umgebungen zu finden, wo die Streifen entweder andere Streifen auswechseln oder nur in einem bestimmten Bereich entlang der Straßenachse definiert werden.

Entlang aller Straßenränder befindet sich der Gehweg (auf Abbildung 14 in violette Fabre dargestellt). Dieser liegt höhenversetzt von der Straßenoberfläche mit einem in Deutschland üblichen Bordstein und ist zu Straßenmittelachse geneigt. Der Bordstein ist mit der neuen Entität *IfcKerb* modelliert, die mit ihrem Attribut *IsMountable* beschriebt, ob ein Fahrzeug problemlos auf den Bordstein steigt oder nicht.

2.2.2 Kreuzung

In innen- sowie außenstädtischen Bereichen können Kreuzungen vorkommen. Das reale Beispiel in Kapitel 2.1 weist jedoch keine solchen Strukturen auf. Vor diesem Hintergrund entschied sich die ARGE, eine Kreuzung in das fiktive Beispiel einzubauen, um eine Überprüfung durchführen zu können.

Das Modell der Kreuzung wird ähnlich zu den in Abschnitt 2.1.3 dargestellten Fahrtrichtungen mithilfe der räumlichen Struktur in der IFC Datei abgebildet. In der Folge wird die Hauptstraße entlang ihrer Achse in Abschnitte zerlegt wie Abbildung 16 zeigt.

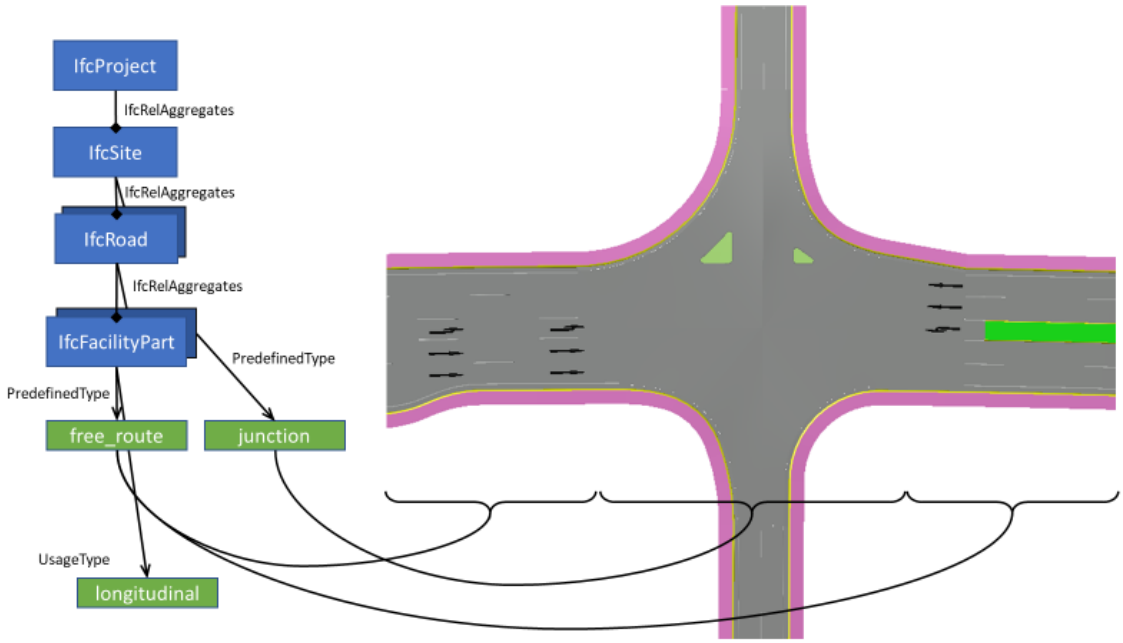

Abbildung 16: Räumliche Modellierung der Kreuzungssituation mithilfe der neu eingeführten Entitäten: Die Haupt- sowie Nebenstraße (IfcRoad) werden entlang deren Achsen in Abschnitte zerlegt (IfcFacilityPart mit UsageType LONGITUDINAL), die mit richtigen Werten für PredefinedType versehen werden (FREE_ROUTE bzw. JUNCTION) (eigene Abbildung).

Die Projektstruktur weist einen komplexeren Aufbau auf, da die Kreuzung sowohl der einen als auch der anderen Straße zugewiesen sein könnte. Aus historischen Gründen dürfen alle Objekte, die von *IfcProduct* abgeleitet sind (unter anderem alle räumlichen und physischen Objekte), nur einem Element der Projektstruktur zugewiesen werden. So ist die Kreuzung der Hauptstraße (*IfcRoad*) zuzuweisen (siehe Abbildung 17). Um bei der Nebenstraße die Kreuzung trotzdem betrachten zu können, sieht der IFC Road Entwurf die Beziehung *IfcRelInterferesElements* vor.

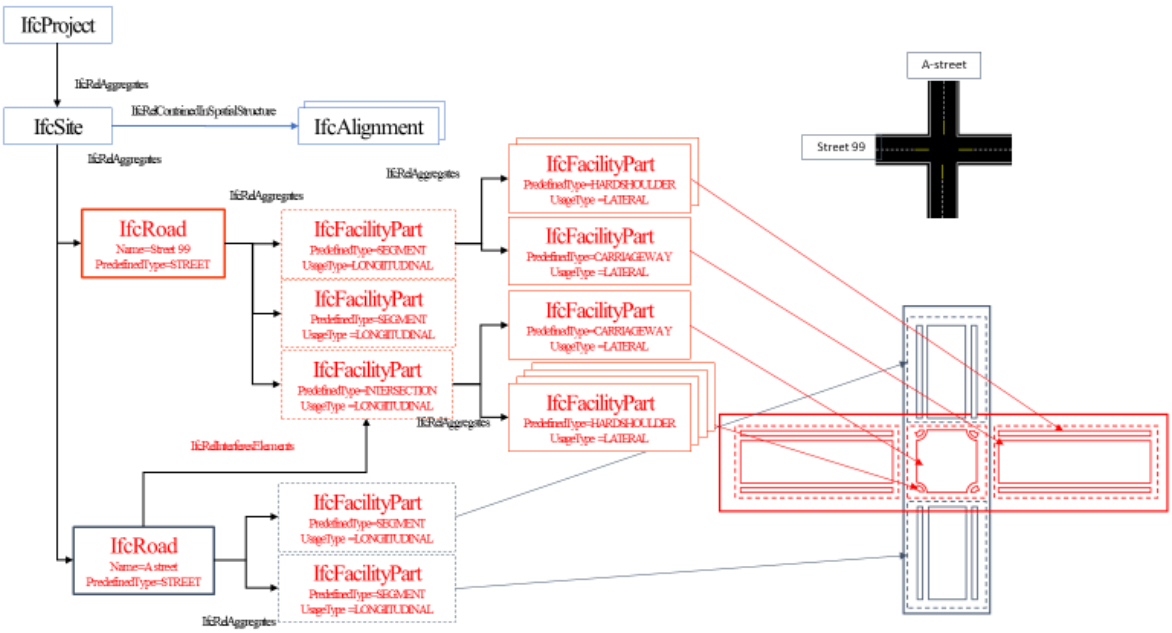

Abbildung 17: Beispiel der übergeordneten Projektstruktur einer Kreuzung. Die Hauptstraße „besitzt“ die Kreuzung mittels der Beziehung IfcRelAggregates, während die Nebenstraße die Kreuzung nur „referenziert“ mittels der angepassten Beziehung IfcRelInterferesElements (IFC Road Project, 2020).

Die einzelnen physischen Elemente einer Kreuzung können mithilfe der Beziehung *IfcRelContainedInSpatialStructure* dem dazugehörigen Objekt aus der Projektstruktur zugewiesen werden. Diese Möglichkeit ist bereits in der Version IFC 4 bereitgestellt und kann z.B. auf Abbildung 12 bzw. Abbildung 18 gesehen werden.

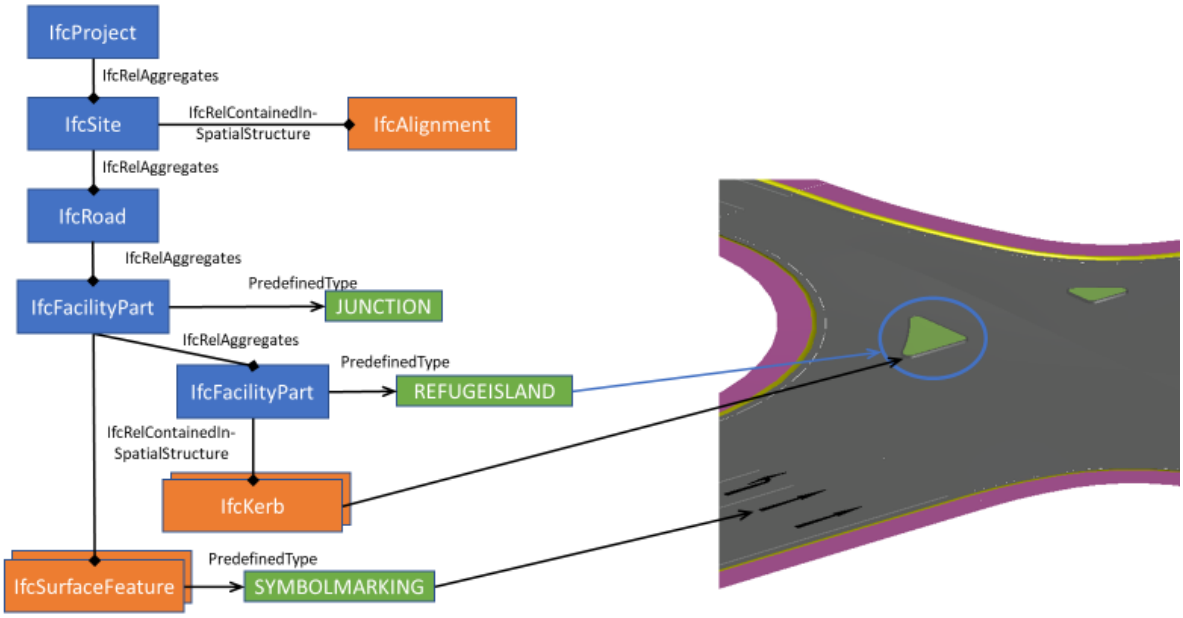

Abbildung 18: Beispiel der detaillierten Projektstruktur einer Kreuzung. Die Kreuzung kann in weitere räumliche Elemente unterteilt werden, z.B. eine Verkehrsinsel ist mit einem Objekt IfcFacilityPart mit PredefinedType REFUGEISLAND modelliert. Die einzelnen Objekte der Kreuzung können dann mithilfe der Beziehung IfcRelContainedInSpatialStructure dem dazugehörigen räumlichen Container zugewiesen werden. Auf der Abbildung sind beispielhaft die Bordsteine der Verkehrsinsel und die Fahrbahnmarkierungen der Kreuzung hervorgehoben (eigene Abbildung).

2.2.3 Fahrbahnmarkierung

Die Fahrbahnmarkierung ist ein wesentlicher Bestandteil jeder Straße. Vor allem in der städtischen Umgebung ist die Straßenbeschriftung von höher Bedeutung, da sie einen reibungslosen Verkehrsablauf unterstützt und dadurch ihre eindeutige Beschreibung wichtig ist.

Der neue Schemaentwurf sieht eine Reihe von neuen PredefinedTypes für die schon bestehende Entität *IfcSurfaceFeature* vor (siehe Abbildung 19). So sollen Pfeile, Texte und andere Symbole mit PredefinedType SYMBOLMARKING, alle linienartige Markierungen mit PredefinedType LINEMARKING und die Sperrmarkierungen mit dem PredefinedType HATCHMARKING modelliert werden. Die Straßenmarkierungen, die nicht nur visuell, sondern auch akustisch auf den Verkehr einwirken, sollen mit PredefinedType RUMBLESTRIP versehen werden.

Auf Abbildung 18 sind die Pfeile dementsprechend mit der Objekten *IfcSurfaceFeature* mit dem PredefinedType SYMBOLMARKING abgebildet.

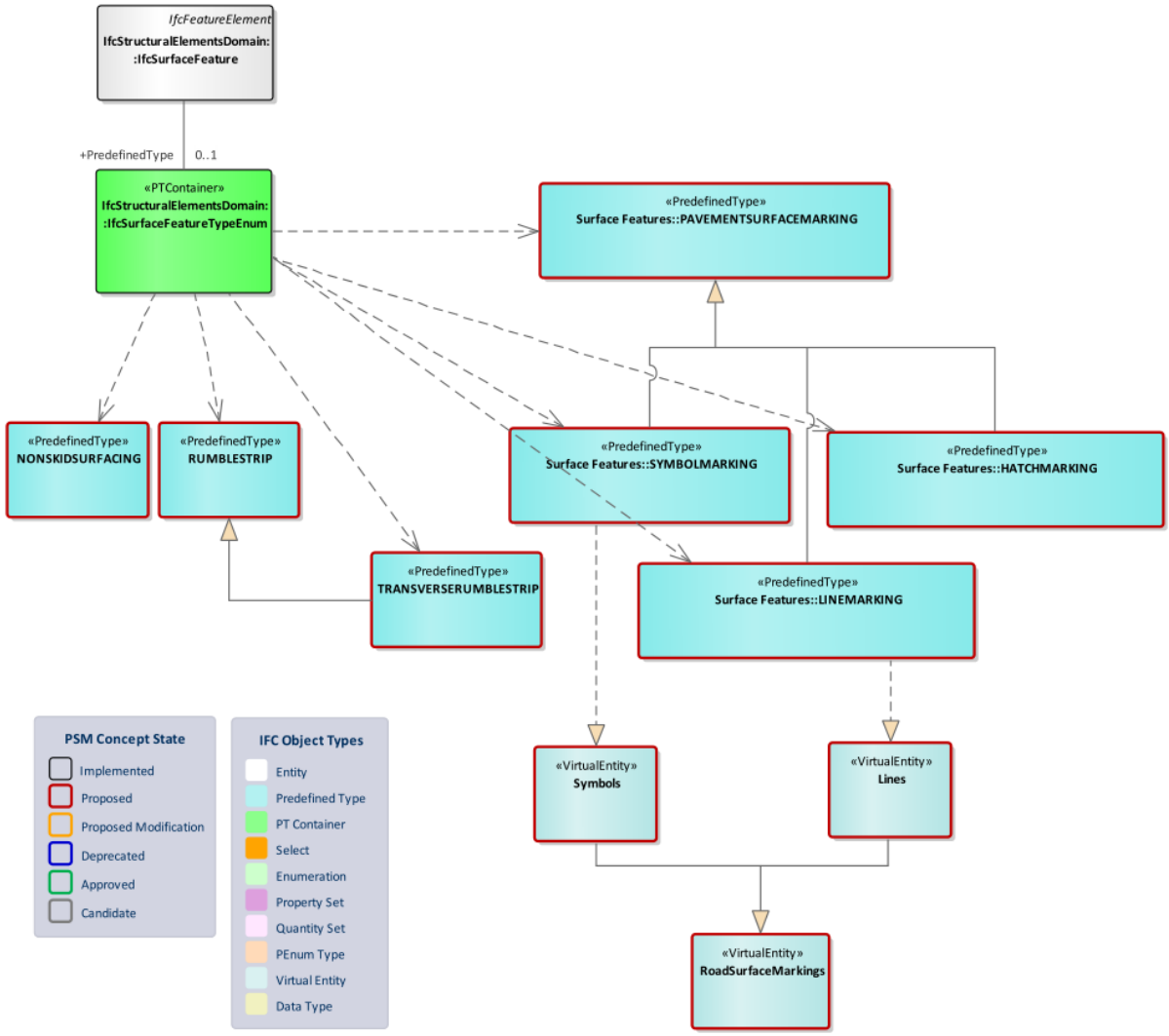

Abbildung 19: Fahrbahnmarkierungen können mithilfe der neu eingeführten PredefinedTypes für die Entität IfcSurfaceFeature modelliert werden (IFC Road Project, 2020).

2.2.4 Fazit

In diesem Beispiel hat die ARGE überprüft, inwiefern sich der neue IFC-Road Standard für die Beschreibung einer in der städtischen Umgebung üblichen Straße eignet. Es konnte festgestellt werden, dass alle aufgeführten Vorkommnisse semantisch hochwertig beschrieben werden können. Dafür kommen die neu eingeführten PredefinedTypes in Einsatz, vor allem für die unterschiedlichen Streifenarten.

Das Beispiel weist eine einfache Kreuzung auf, die vollkommen mit den neuen IFC-Road Standard beschrieben werden kann. Die räumliche Struktur ermöglicht die Kreuzung in beiden Straßen (Haupt- und Nebenstraße) zu referenzieren. Die Möglichkeit, räumliche Elemente ineinander zu verschachteln, erlaubt eine einfache und eindeutige Zuweisung der Verkehrsinsel und deren Elemente der Kreuzung. Trotzdem ist die Struktur sehr flexibel gestaltet, so dass auch andere Kreuzungen äquivalent modelliert werden können.

2.3 Beispiel 3: BAB 99, Überführung über das Bauwerk 27-1

Das Beispiel dient vornehmlich der Illustration der gemeinsamen Verwendung von Elementen der IFC-Bridge, IFC-Road und IFC-Rail Erweiterungen.

Es entstammt einem realen Bauvorhaben der Autobahndirektion Südbayern, bei dem im Zuge des achtstreifigen Ausbaus der A99 ein Brückenbauwerk ersetzt worden ist. Das Projekt wurde als eines der BIM-Pilotvorhaben des Bundes von BIM4INFRA begleitet. Im Zuge der Entwurfs- und Ausführungsplanung wurden BIM-Modelle erstellt. Diese bildeten die Grundlage der durchgeführten Untersuchung zur Abbildung des IFC-Standards.

Obwohl die Brücke der Fokus des Entwurfs war, wurden im Modell auch Straßen- sowie Eisenbahnobjekte modelliert. Die Brückenelemente wurden im Zuge der Begleitung des IFC Bridge Projekts schon erfolgreich in die neue Struktur überführt. Die Straßenelemente wurden entsprechend der Vorgaben des IFC-Road Standards semantisch umstrukturiert. Dabei wurden die *IfcBuildingElementProxy*-Objekte in die vorgegebenen semantischen Entitäten überführt. Zudem wurde das geodätische Referenzsystem im Modell korrekt hinterlegt.

Das Bauwerksmodell wurde ursprünglich im Format IFC 2x3 an den Auftraggeber übergeben. Dabei kamen infolge der mangelnden Unterstützung von brücken- und straßenspezifischen Elementen in starkem Maße Platzhalterobjekte vom Typ *IfcBuildingElementProxy* zum Einsatz. Die Klassifizierung und Attribuierung wurde manuell mithilfe gesondert definierter *IfcPropertySet*s realisiert.

2.3.1 Geodätisches Referenzsystem

Das Modell ist durch Verwendung des geodätischen Raumbezugs korrekt im Münchener Nordosten verortet. Dadurch beinhaltet das Modell ausreichende Informationen für die Absteckung oder andere geodätische Aktivitäten. Näheres kann dem Abschnitt 2.1.1 entnommen werden.

2.3.2 Räumliche Struktur

Zur Beschreibung der hierarchischen Struktur des Bauwerks (auch „räumliche Struktur“ genannt) wurden die neue Klasse *IfcFacility* und davon abgeleitete Klassen anstelle von *IfcBuilding* eingesetzt. Die Brückenelemente wurden der Entität *IfcBridge* und die Straßenelemente der *IfcRoad* zugeordnet (siehe Abbildung 20).

Da das Modell Elemente aller drei Domänen beinhaltet, fand die neu eingeführte Beziehung *IfcRelInterferesElements* Anwendung. Diese ermöglicht die Information zu wiedergeben, dass die Straße über die Brücke führt und die Schienentrasse unter der Brücke verläuft. Beides kann mithilfe der passenden vordefinierten Typen angegeben werden: PASSES_OVER und PASSES_UNDER.

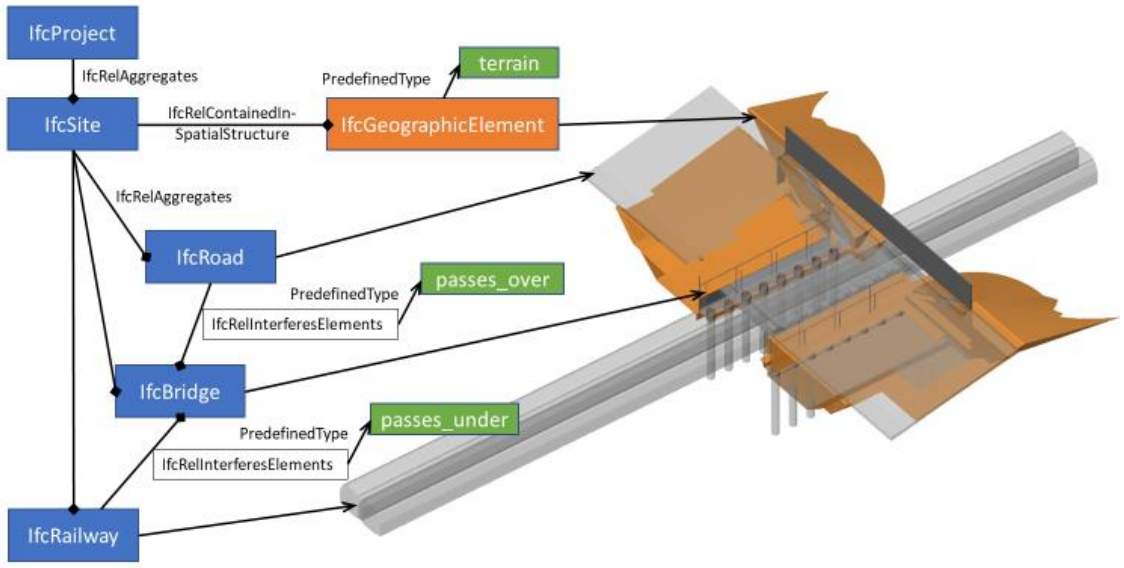

Abbildung 20: Räumliche Strukturierung entsprechend der Vorgaben des neuen IFC Standards: Das räumliche Element IfcSite (steht für die Baustelle) beinhaltet das oberste Container-Element jeder der drei Spalten: IfcRoad (Straße), IfcBridge (Brücke) und IfcRail (Eisenbahn). Das Geländemodell wurde mit der Entität IfcGeographicElement mit PredefinedType TERRAIN modelliert und direkt unter dem IfcSite-Objekt mittels IfcRelContainedInSpatialStructure angehängt. Der räumliche Bezug zwischen den Spalten konnte mit der Beziehung IfcRelInterferesElements mit den passenden PredefinedTypes realisiert werden (eigene Abbildung).

2.3.3 Physische Objekte

Den räumlichen Objekten wurden die physischen Objekte des Unterbaus und des Überbaus jeweils mithilfe der Beziehung *IfcRelContainedInSpatialStructure* zugeordnet.

Der Fahrbahnbelag wurde als *IfcCourse mit PredefinedType* WEARING modelliert. Die Lärmschutzwand wurde als *IfcWall* mit PredefinedType NOISE_BARRIER angelegt.

Die Entwässerung konnte mithilfe der bereits in IFC4 zur Verfügung stehenden Klasse *IfcDistributionElement* bzw. seiner Subklassen modelliert werden.

2.3.4 Geometrie

Zur Geometriebeschreibung der Brückenelemente kommen (wie auch im IFC2x3-Ausgangsmodell) facettierte Oberflächenbeschreibungen (*IfcFacetedBrep*) sowie einfache Sweeps (*IfcExtrudedSolid*) zum Einsatz, die bereits in früheren Versionen des IFC-Standards verfügbar waren. Die Verwendung der Geometriebeschreibung *IfcSectionedSolidHorizontal*, die mit IFC 4x1 eingeführt wurde, war für die Objekte nicht notwendig, da die Geometrie des Überbaus durch eine geradlinige Extrusion darstellbar ist.

Die Querschnitte des Straßen- und Eisenbahnoberbaus wurden mittels der neuen parametrischen Beschreibungen wie *IfcSectionedSolidHorizontal* oder *IfcSectionedSurface* beschrieben werden (siehe Abschnitt 2.1.5).

2.3.5 Fazit

Anhand des Beispiels konnte gezeigt werden, dass auch domänenübergreifende Modelle mithilfe des neuen IFC-Road Standards semantisch hochwertig abgebildet werden können. Platzhalterobjekte vom Typ *IfcBuildingElementProxy* konnten nahezu vollständig durch semantisch höherwertige Objekte ersetzt werden. Eine Schlüsselrolle bilden dabei die PredefinedTypes, die mit dem neuen Standard nun für schon vorhandenen Entitäten zur Verfügung stehen.

3 Abgleich von nationalen Anforderungen mit der Anforderungsanalyse des internationalen IFC-Rail Projekts

3.1 Überblick über das internationale IFC-Rail Projekt

Das IFC-Rail Projekt ist das größte der derzeit laufenden Erweiterungsprojekte innerhalb buildingSMART International. Ausgehend von den Anforderungen der einzelnen Projektbeteiligten haben sich Experten für verschiedene schienenweg-spezifische Domänen zusammengefunden und an den Anforderungen für ihre jeweilige Fachdisziplin gearbeitet. Zu diesen Disziplinen zählen derzeit:

- **Track**: Beschreibung des Schienenbaukörpers
- **Telecomunication**: Anforderungen an Telekommunikations- und IT-Einrichtungen
- **Signaling**: Leit- und Sicherungstechnik
- **Energy**: Energieversorgung
- **Common Schema/Shared Elements**

Neben den vier Domänengruppen gibt es zusätzlich eine Kategorie „Common Schema/Shared Elements“, die sich mit Belangen befasst, die disziplinübergreifend analysiert und modelliert werden müssen. Darunter fallen beispielweise Anforderungen an die räumliche Projektstruktur oder an Bauteile, die in unterschiedlichem fachlichem Kontext eine Rolle spielen können. Ein wichtiges Beispiel sind hierbei unter anderem alle Arten von Masten und Auslegern, die häufig nicht nur Komponenten der Oberleitungsanlagen, sondern auch Signaltechnik oder Einrichtungen der Telekommunikation tragen können.

Aus der sehr großen Anzahl an beteiligten Experten erwuchs die Notwendigkeit, ein eigenes Technical Services (TS) Team zu begründen, welches sich für sämtliche Methoden, Prozesse sowie für die eingesetzten Werkzeuge verantwortlich zeichnet (z.B. UML-Server zur Erstellung des Plattform-unabhängigen Modells, Betrieb einer Datenbank zum Sammeln von Attributdefinitionen, …). Abbildung 21 gibt einen Überblick über die Projektstruktur.

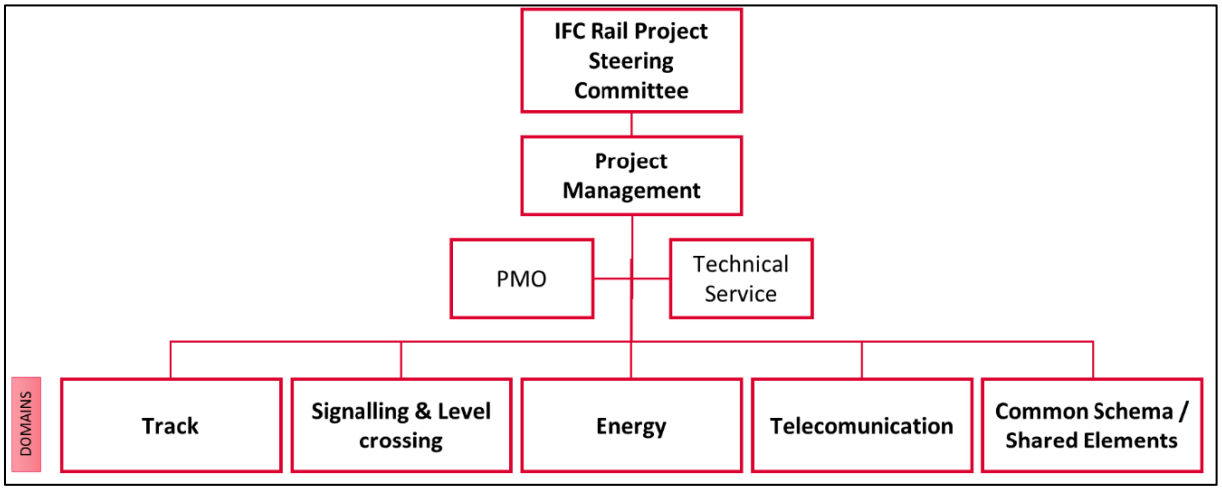

Abbildung 21: Projektstruktur internationales IFC-Rail Projekt (IFC Rail International 2019)

Die große Zahl an Beteiligten hat dazu geführt, dass neben tabellen- und datenbankbasierten Methoden zur Erfassung der Anforderungen umfangreiche UML-Diagramme angelegt wurden, um die Beziehungen und Zusammenhänge einzelner Komponenten darzustellen. Diese

Diagramme wurden im Verlauf zu einem sogenannten plattformunabhängigen Modell (platform independent model, PIM) weiterentwickelt. Ausgehend von diesem wird ein Mapping auf das IFC-Datenmodell durchgeführt. Dabei können Komponenten des plattformunabhängigen Modells in einigen Fällen mit bestehende IFC Entitäten sinnvoll repräsentiert werden. Sind die existierenden IFC-Klassen nicht ausreichend akkurat, um den gewünschten Sachverhalt zu beschreiben, werden neue IFC Klassen bzw. neue *PredefinedTypes* definiert. Diese bilden in der Folge den IFC-Rail Erweiterungsvorschlag und stellen die eigentliche Schemaerweiterung dar.

Eine abschließende Validierung des IFC-Rail Erweiterungsvorschlags kann auf Basis des im Oktober 2019 veröffentlichten plattformunabhängigen Modells nicht vorgenommen werden. Es zeichnet sich aber ab, dass insbesondere die Abbildung der Gleisüberhöhung sowie die Raumreservierung für Ausrüstungstechnik essenzielle Konzepte der IFC-Rail Erweiterung sein werden. Außerdem zeigen erste projektinterne Entwürfe, dass zahlreiche existierende IFC-Klassen, die bisher vorrangig für die Gebäudetechnik eingesetzt wurden, mithilfe neuer *PredefinedTypes* auch schienenbauspezifische Produkte repräsentieren können. Darunter fallen vor allem eine Vielzahl an Sensortypen oder Komponenten, zur Modellierung von (elektronischen) Signalflüssen notwendig sind.

3.2 Abgleich des internationalen plattform-unabhängigen IFC-Rail Modells mit nationalen Initiativen

Neben den Bemühungen auf internationaler Ebene haben auch in Deutschland einige Initiativen zur Sammlung wesentlicher Konzepte rund um die digitale Abbildung von Eisenbahninfrastruktur stattgefunden. Dazu zählen unter anderem diverse Forschungsprojekte, die sich mit der Einführung von BIM-basierten Methoden für den Eisenbahnbau befasst haben. Zu nennen sind hier unter anderem die Projekte BIM4RAIL oder RIMcomb. Zudem setzen sich spezielle Fachgruppen innerhalb von BuildingSmart Deutschland e.V. ebenfalls Fragestellungen zu Attributkatalogen und nationalen Anforderungen an die international definierten Standards auseinander.

Der Abgleich zwischen den im IFC-Rail Projekt definierten Anwendungsfälle und den untersuchten Szenarien im Projekt BIM4RAIL zeigt Überlappungen. Ebenso zeichnet sich ab, dass sich Korrelationen zwischen dem im RIMcomb Projekt definierte Objektkatalog zur verbesserten Abbildung von Eisenbahnausrüstungstechnik mit den IFC-Rail Vorschlägen erkennen lassen.

3.3 Einbringung der deutschen Anforderungen zur Abbildung der Gleisüberhöhung in das internationale IFC Rail Projekt

Neben neuen Produktdefinitionen und der Erweiterung möglicher *PredefinedTypes* zur Spezifikation bestimmter Komponenten stellt die Abbildung der Gleisüberhöhung ein wesentliches Konzept im internationalen IFC-Rail Projekt dar.

Die Deutsche Bahn (DB) hat hierzu bereits vor einiger Zeit in Zusammenarbeit mit der Österreichischen sowie Schweizerischen Bundesbahn (ÖBB, SBB) ein Positionsschreiben aufgelegt, welches die Anforderungen an die Beschreibung der Gleisüberhöhung für diese drei Länder definiert (Reifenhäuser et. al., 2018).

Die Zielsetzung besteht in der Abbildung der Gleisüberhöhung, die zur Reduzierung der auf das Fahrzeug wirkenden Fliehkräfte in einer Kurve dient. Die Überhöhung wird als klassischerweise für einzelne Querschnitte entlang der Gleisachse definiert und ergibt neben dem horizontalen und vertikalen Anteil der Achse die dritte Dimension, die für die vollständige Beschreibung eines Schienenweges notwendig ist.

Zu unterscheiden sind hierbei zwei Ansätze, die in unterschiedlichen Ländern Anwendung finden:

1. Definition der Überhöhung in Bezug zur tieferliegenden Schiene (DB, ÖBB)
2. Gleichmäßige Verteilung der Überhöhung auf linke und rechte Schiene ausgehend von der Gradiente (SBB).

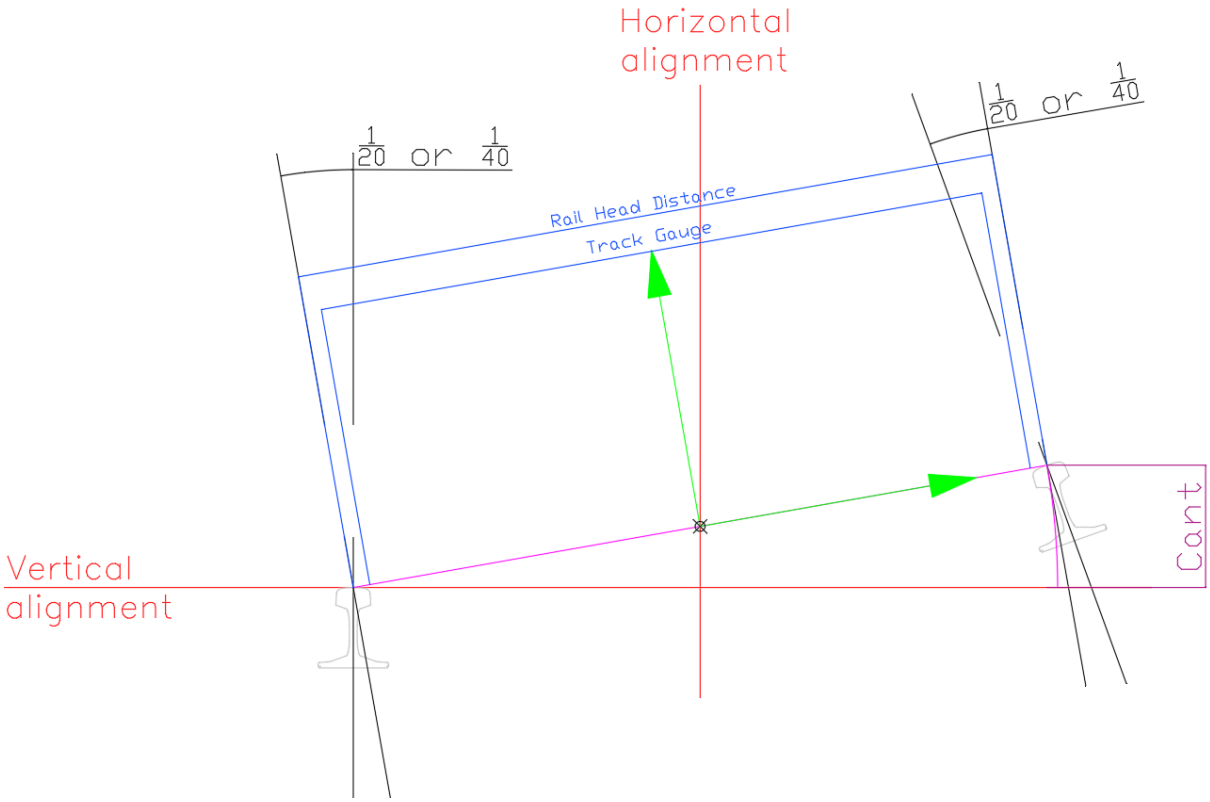

Abbildung 22: Die Überhöhung (Cant) wird ausgehend von der tieferliegenden Schiene gemessen. In diesem Fall „erhöht“ sich immer die außenliegende Schiene (vgl. Abbildung 23).

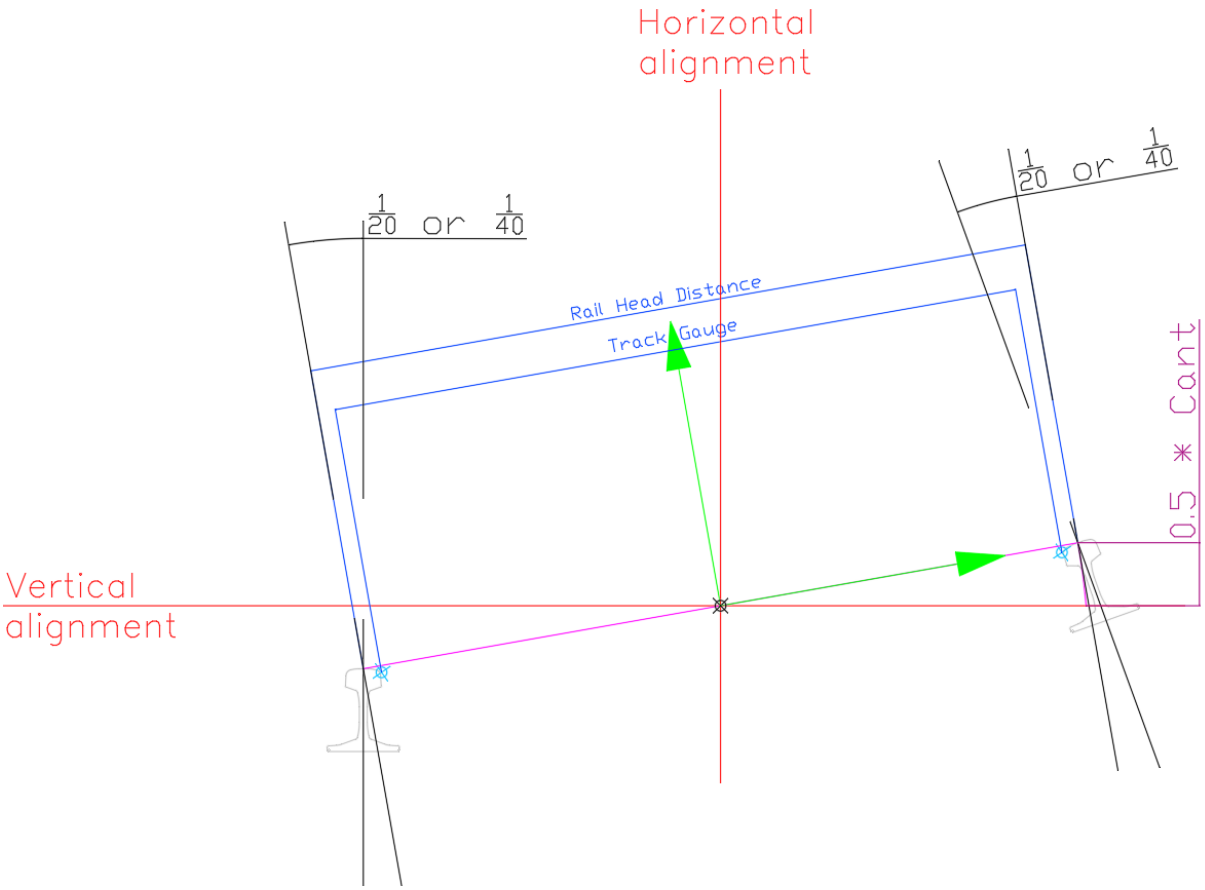

Abbildung 23: Die Überhöhung wird zu Hälfte auf jede Schiene angewendet. Somit „sinkt" die tieferliegende Schiene bzw. „steigt" die außenliegende Schiene bei der Anbringung einer Überhöhung (vgl. Abbildung 22).

Im internationalen Projekt wird unter dem Begriff „Alignment" häufig bereits das Zusammenspiel aus horizontaler und vertikaler Achse zusammen mit der Gleisüberhöhung verstanden. Diese Definition erweitert das existierende *IfcAlignmentCurve*-Objekt von einer dreidimensionalen Raumkurve hin zu einer Oberfläche, die in jedem Punkt der Achse einen bestimmten Normalenvektor aufweist. Eine zentrale Schwierigkeit stellt hierbei nun die Vereinbarkeit der existierenden Konzepte innerhalb des IFC-Datenmodells auf die Erweiterung des Kurvenbegriffs dar. Soll nun beispielsweise eine lineare Positionierung eines Produktes mithilfe des *IfcLinearPlacements* vollzogen werden, ist ausgehend von den veröffentlichten konzeptionellen Modellen nicht widerspruchsfrei ersichtlich, welches Referenzsystem für die Anwendung der Offset-Werte angewendet werden soll.

Dies ist Gegenstand gegenwärtiger Diskussionen zwischen Experten der verschiedenen Teilprojekte und konnte zur Drucklegung dieses Dokuments ebenfalls nicht abschließend bewertet werden. Festzuhalten ist jedoch, dass die ARGE die deutschen Anforderungen zur Abbildung der Gleisüberhöhung erfolgreich auf internationaler Ebene vertreten kann, auch wenn sich die Deutsche Bahn AG als Projektbeteiligter aus dem Projekt zurückgezogen hat.

3.4 Fazit

Die bisher veröffentlichten Dokumente zur Anforderungsanalyse verdeutlichen die immense Dimension des internationalen IFC-Rail Projektes und die große Anzahl an Beteiligten aus zahlreichen Ländern. Insbesondere die moderne Herangehensweise, die Definition eines

umfangreichen plattform-unabhängigen Modells vor der eigentlichen IFC-Schemaerweiterung durchzuführen, ist als wichtige Arbeit für zukünftige IFC-Erweiterungsprojekte einzustufen.

Gleichzeitig ist festzuhalten, dass auch nach fast drei Jahren Entwicklung noch kein implementierbarer Schemaentwurf zur internationalen Begutachtung im Rahmen eines Expert Panels veröffentlicht wurde. Daher rührt auch die Abwesenheit echter Modellierungsbeispiele in diesem Bericht. Die Beteiligung der ARGE-Mitglieder in internationalen Projektmeetings von IFC-Road und IFC-Rail sowie in den gestarteten Harmonisierungsbemühungen lassen aber erwarten, dass im Verlauf des Jahres 2020 implementierbare Definitionen veröffentlicht werden, die im Folgenden gegen nationale Anforderungen mithilfe von Beispielmodellen validiert werden sollten. Ein wichtiges Beispiel ist hierbei die Abbildung eines Bahnübergangs, bei dem insbesondere die unterschiedliche Abbildungsweise der Straßen- und Gleisüberhöhung exakt interpretiert werden muss.

4 Fazit

Mit der erfolgten Evaluierung anhand drei unterschiedlichen Straßenanlagen, wie sie in Deutschland typischerweise gebaut werden, wurde nachgewiesen, dass die vorgeschlagene IFC-Road-Erweiterung im deutschen Straßenbau einsetzbar ist. Die Ansätze zu IFC-Rail lassen ebenfalls den Schluss zu, dass die Entwicklungen mit üblichen Konzepten des Schienenbaus in Deutschland konsistent sind. Eine abschließende Bewertung kann zu IFC-Rail allerdings erst erfolgen, sobald ein implementierbarer, plattform-spezifischer IFC-Standard zur Verfügung steht.

Zu den untersuchten Aspekten gehörte, dass die hierarchische Projektstruktur abgebildet und die Geometrien korrekt definiert werden, eine Ausrichtung entlang der Trassenachse möglich ist, und die Bauteile semantisch widerspruchsfrei beschrieben werden können. Weitergehende Anforderungen an die Attribuierung seitens der verschiedenen Vorhabenträger können mithilfe des Konzepts der PropertySets flexibel mit den Modellen im IFC-Format verknüpft werden.

5 Quellen

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014): ASB Anweisung Straßeninformations-Bank. Segment: Querschnitt und Aufbau, Version 2.03. Stand: 20.02.2014. Online verfügbar unter: http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/V-asb-querschnitt.pdf?__blob=publicationFile&v=2

IFC Rail International, 2019. IFC Rail: Context and Approach.

IFC Road Project, 2020. Interne Dokumente des internationalen Projekts.

Markič, Š.; Donaubauer, A.; Borrmann, A.: 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, 2018

Reifenhäuser, M., Klebermass, R., & Mautz, R. 2018, BIM IFC-Alignment: Fachliche Anforderungen Rail der DB, ÖBB und SBB.

Vilgertshofer, S., Stoitchkov, D., Esser, S., Borrmann, A., Muhič, S., & Winkelbauer, T. (2018). The RIMcomb research project: Towards the application of building information modeling in Railway Equipment Engineering. 12th European Conference on Product and Process Modelling. https://doi.org/10.1201/9780429506215-55