

Erweiterung von IFC-Alignment um Straßenquerschnitte

Dominic Singer¹, Julian Amann¹

¹ Technische Universität München, Deutschland

¹ Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

dominic.singer@tum.de, julian.amann@tum.de

Abstract. Im Bereich des Hochbaus wird der Austausch von Produktdatenmodellen hauptsächlich mittels der Industry Foundation Classes (kurz IFC) durchgeführt. Bisher eignet sich die IFC nur bedingt für die Weitergabe von Produktdatenmodellen von Infrastrukturbauwerken, wie Straßen, Tunnel oder Brücken. Wichtige Trassierungsinformationen, wie Lage, Gradienten, Krümmungs- und Rampenband sowie Querprofile, lassen sich mit Hilfe der IFC momentan nicht vernünftig austauschen. Zurzeit existieren verschiedene Datenformate (LandXML, OKSTRA etc.), welche Straßenquerschnitte auf unterschiedliche Weise speichern. In (Amann et al. 2013) wurde bereits ein Vorschlag für das IFC-Alignment Schema entwickelt, das allerdings keine Querprofile von Straßen abbildet. Im Rahmen dieser Arbeit wird gezeigt, wie das IFC-Alignment-Schema um Straßenquerschnitte erweitert werden kann.

1. Einführung

Im Bereich des Hochbaus wird der Austausch von Produktdatenmodellen hauptsächlich mittels der Industry Foundation Classes (kurz IFC) durchgeführt. Bisher eignet sich die IFC nur bedingt für die Weitergabe von Produktdatenmodellen von Infrastrukturbauwerken, wie Straßen, Tunnel oder Brücken. Wichtige Trassierungsinformationen, wie Lage, Gradienten, Krümmungs- und Rampenband sowie Querprofile, lassen sich mit Hilfe der IFC momentan nicht vernünftig austauschen. Ein offener Standard für den Austausch von Produktdatenmodellen der Verkehrsinfrastruktur, basierend auf IFC, wird derzeit durch die openINFRA-Initiative der buildingSMART International Ltd. entwickelt (buildingSMART 2014). Ziel ist es, mit dem kommenden IFC-5-Schema Infrastrukturbauwerke mit Hilfe der IFC abbilden zu können. Im ersten Schritt dieses Verfahrens wird derzeit das IFC-Alignment entwickelt, das als Grundlage für die Trassierung von Straßen, Brücken und Tunneln dient.

LandXML hat sich als De-facto-Standard für den Austausch von Trassierungsinformationen im internationalen Bereich durchgesetzt und ist weit verbreitet. In Deutschland, bzw. dem deutschsprachigen Raum, wird hauptsächlich der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (kurz OKSTRA) für den Datenaustausch verwendet. LandXML hat jedoch beim Austausch von Querprofilen erhebliche Nachteile zu verzeichnen. So wird lediglich das Ergebnis einer Querprofilkonstruktion an bestimmten Stationierungspunkten übergeben. Die Regeln und Konstruktionsprozesse zur Erstellung des Straßenkörpers sind nicht Teil des Datenformats, was eine Weiterbearbeitung in einer anderen Softwareapplikation erschwert. Das "Dynamische Querprofil", welches für den OKSTRA entwickelt wurde, weist dieses Problem nicht auf. Dieses Querprofil ermöglicht eine dynamische Anpassung an Ausgangsbedingungen. Die übergebenen Trassierungsinformationen können von jeder Anwendung eindeutig interpretiert, Teilbereiche verändert, gespeichert und weitergegeben werden. OKSTRA ist jedoch stark an die Bedürfnisse im deutschsprachigen Raum angepasst. Für Variablenbezeichner wurden durchgängig deutsche Namen verwendet, die sich in einem internationalen Kontext als nachteilig erweisen. Das Projekt IFC-Alignment versucht die Nachteile dieser Standards zu umgehen und die Vorteile beider Standards zu vereinen. In (Amann et al. 2013) wurde bereits ein Vorschlag für das IFC-Alignment entwickelt, welcher allerdings keine Querprofile vorsieht. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Erweiterung dieses IFC-Alignment-Modells um Straßenquerschnitte vorgestellt. Im Detail werden ein erweitertes EXPRESS-Schema und ein beispielhafter Ausschnitt einer STEP-Instanzdatei gezeigt. Im letzten Teil dieser Arbeit wird die Integration des erweiterten Schemas in eine bestehende Softwareapplikation beschrieben.

2. Überblick über existierende Standards

Neben den Big Player LandXML und OKSTRA existieren weltweit weitere, kleinere bzw. unbekanntere oder in der Entwicklung befindliche Datenformate zum Austausch von Trassierungsinformationen. Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen Formate, insbesondere LandXML und OKSTRA.

2.1 LandXML

LandXML ist ein ASCII-Datenaustauschformat basierend auf XML (Extensible Markup Language). Mit LandXML können hauptsächlich Vermessungs- und Infrastrukturdaten übergeben werden. Die aktuell gültige Version des LandXML-Schemas ist 1.2, Version 2.0 befindet sich derzeit in der Entwicklung (LandXML.org 2014). Der Vorteil eines XML basierten Formates besteht in der sowohl für den Menschen als auch den Computer sehr guten Lesbarkeit. LandXML ist weltweit verbreitet und wird von allen namhaften Softwareherstellern unterstützt.

Mit der Version 1.1 wurde die Abbildung von Querprofildaten bedeutend verbessert. Das Konzept wird im Folgenden vorgestellt. Zur Abbildung des Straßenkörpers wurden sogenannte Design Cross Sections eingeführt. Mit Hilfe der Design Cross Section Elemente kann das Format ein Produktmodell einer Straße vollständig dreidimensional speichern, alle Daten zur Absteckung auf der Baustelle bereitstellen, als Grundlage für Flächen- und Massenermittlungen dienen und nicht-linear einen Straßenkörper zwischen den diskreten Querprofilen definieren.

```
<CrossSects>
  <CrossSect sta="18808.601999999999" name="18+808.602">
    <CrossSectSurf name="P1-dnetz01" desc="">
      <PntList2D>-60. 0. -0.000000000082 0. 59.999999999835 0.</PntList2D>
    </CrossSectSurf>
    <DesignCrossSectSurf name="1. Deckschicht" side="right" closedArea="true" area="0.1">
      <CrossSectPnt>0. 0.</CrossSectPnt>
      <CrossSectPnt code="Fahrspurrand_Außen">4. -0.08</CrossSectPnt>
      <CrossSectPnt code="Fahrspurrand_Außen_Deckschicht">4. -0.105</CrossSectPnt>
      <CrossSectPnt>0. -0.025</CrossSectPnt>
      <CrossSectPnt>0. 0.</CrossSectPnt>
    </DesignCrossSectSurf>
  </CrossSect>
</CrossSects>
```

Abbildung 1: Instanz eines Querprofils in einer LandXML-Datei

In Abbildung 1 ist ein in LandXML definiertes Querprofil exemplarisch dargestellt. Das bereits in Version 1.0 enthaltene *CrossSectSurf*-Element dient zur Abbildung des natürlichen Geländes. Mit Hilfe der *DesignCrossSectSurf* wird der Straßenaufbau beschrieben. Mehrere dieser Elemente sind in einem *CrossSect*-Element zusammengefasst, welches eindeutig einer Stationierung zugeordnet ist. Die *DesignCrossSectSurf*-Elemente können sowohl geschlossene Volumen als auch Flächen beschreiben. Jeder *CrossSectPnt* eines *DesignCrossSectSurf*-Elements kann auf zwei Arten eindeutig gespeichert werden. Zum einen über den Abstand und die Höhendifferenz zur Achse oder zum anderen über Länge und Neigung des Abschnitts, bezogen auf die Achse oder den vorherigen *CrossSectPnt*. In Abbildung 2 sind gerenderte *CrossSectSurf*- und *DesignCrossSectSurf*-Elemente, welche ein Querprofil bilden, zu sehen.

Zur Beschreibung des Straßenkörpers zwischen den diskreten Querprofilen sieht das LandXML-Format Referenzattribute vor. So kann jeder *CrossSectPnt* mit Hilfe des *alignRef*-Attributs zusätzliche Geometrie, konkret ein *Alignment*-, *Parcel*- oder *PlanFeature*-Element, referenzieren. Weiter kann zusätzlich die Stationierung des *CrossSectPnt* entlang der referenzierten Geometrie durch das Attribut *alignRefStation* angegeben werden. In Abbildung 3 ist das Rendering eines Straßenkörpers einer LandXML-Datei zu sehen.

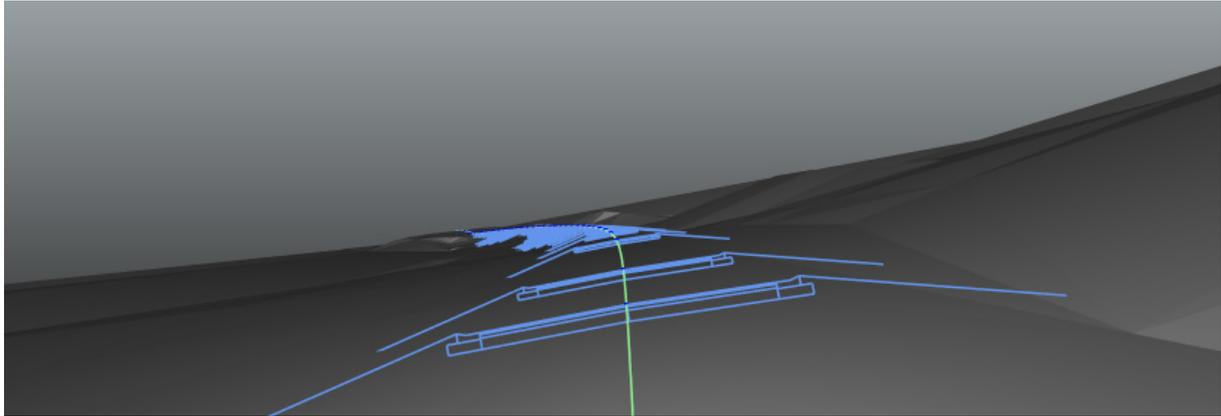


Abbildung 2: LandXML Cross Section mit Hilfe der TUM Open Infra Plattform gerendert

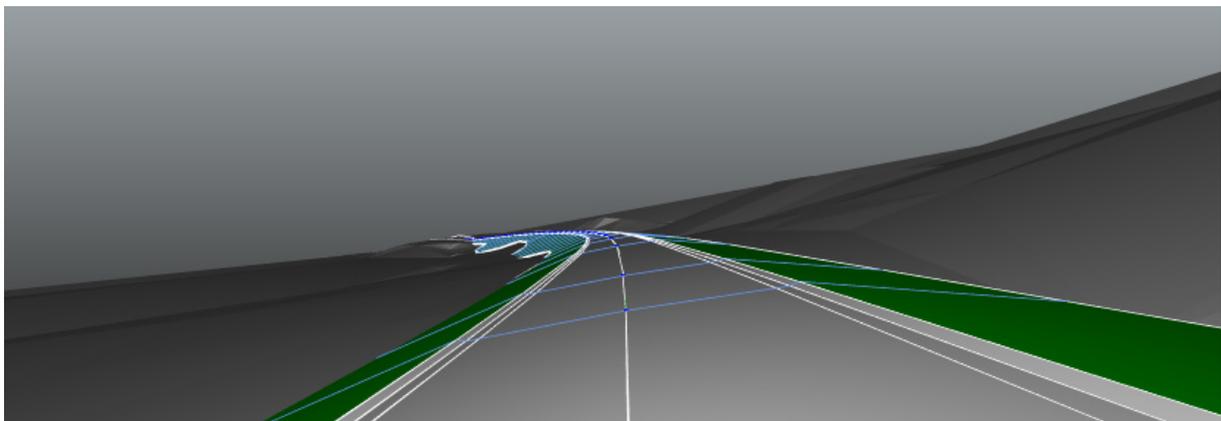


Abbildung 3: LandXML Straßenkörper mit Hilfe der TUM Open Infra Plattform gerendert

Größter Nachteil des LandXML-Formats ist die Tatsache, dass zwar, wie beschrieben, die Geometrie eines Straßenkörpers komplett abgebildet werden kann, die Regeln und Prozesse, wie diese Geometrie zustande kommt, allerdings nicht weitergegeben werden. Dies ist auch keinesfalls die Intention der Entwickler des LandXML-Standards. Ergo ein klarer Unterschied zum Dynamischen Querprofil im OKSTRA, welches im Folgenden vorgestellt wird.

2.2 OKSTRA

Der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (kurz OKSTRA) ist ein offener Standard zur Abbildung und zum Austausch von Produktmodellen des Verkehrswegebbaus innerhalb der Bundesrepublik Deutschland. Der OKSTRA soll einen verlustfreien Austausch von Daten des Straßen- und Verkehrswegebbaus zwischen verschiedenen Softwaresystemen gewährleisten. Das OKSTRA-Schema ist in EXPRESS modelliert, wovon das OKSTRA-XML-Datenformat abgeleitet wird. Die aktuelle Version ist 2.016 (OKSTRA 2014).

Um Querprofildaten einer Trasse zu speichern, verwendet der OKSTRA zwei verschiedene Methoden. Es wird zwischen einem Statischen und einem Dynamischen Querprofil unterschieden (Feser 2005). Das Statische Querprofil ist vergleichbar mit dem *CrossSection*-Element aus LandXML. Für die Abbildung eines Querprofiles stellt OKSTRA ein Objekt *Querprofil* zur Verfügung. Dieses Objekt *Querprofil* beschreibt alle Schichten einer Straße in einem Querschnitt an einer bestimmten Station der zugeordneten Achse. Die einzelnen Schichten eines Querprofiles werden über das Objekt *Profillinie* angegeben. Das Objekt *Profillinie* wiederum wird durch *QP_Punkte* genannte Objekte beschrieben. Diese Punkte sind über ihren Abstand zur Achse und ihrer absoluten Höhe eindeutig bestimmt. Ein Beispiel eines Querprofiles in OKSTRA ist in Abbildung 4 dargestellt.

```

<okstra:Querprofil gml:id="Querprofil.107">
  <gml:name>Querprofil.107</gml:name>
  <okstra:Station>20.0</okstra:Station>
  <okstra:hat_Profillinien Objektklasse="Profillinien" xlink:href="#Profillinien.29"/>
-----
<okstra:Profillinien gml:id="Profillinien.29">
  <gml:name>Profillinien.29</gml:name>
  <okstra:Bestandsstatus xlink:href="#Bestandsstatus.6"/>
  <okstra:Art_des_Horizonts xlink:href="#Art_des_Horizonts.1"/>
  <okstra:Horizontkennzahl>30</okstra:Horizontkennzahl>
  <okstra:Art_Profillinie xlink:href="#Art_Profillinie.35"/>
  <okstra:hat_QP_Punkte Objektklasse="QP_Punkte" xlink:href="#QP_Punkte.106"/>
  <okstra:hat_QP_Punkte Objektklasse="QP_Punkte" xlink:href="#QP_Punkte.44"/>
  <okstra:hat_QP_Punkte Objektklasse="QP_Punkte" xlink:href="#QP_Punkte.45"/>
  <okstra:hat_QP_Punkte Objektklasse="QP_Punkte" xlink:href="#QP_Punkte.46"/>
-----
<okstra:QP_Punkte gml:id="QP_Punkte.106">
  <gml:name>QP_Punkte.106</gml:name>
  <okstra:Art_QP_Punkt xlink:href="#Art_QP_Punkt.999"/>
  <okstra:Abstand_zur_Achse>-11.34215</okstra:Abstand_zur_Achse>
  <okstra:Hoehe_NN>496.9</okstra:Hoehe_NN>
</okstra:QP_Punkte>

```

Abbildung 4: Instanz eines Querprofils im OKSTRA

Im Gegensatz zum Statischen Querprofil, welches diskrete Profillinien, Profillächen als Objekte und weitere Informationen beinhaltet, beschreibt das Dynamische Querprofil die Konstruktionsvorschrift für die Querprofile. Das Dynamische Querprofil erstellt aus Querprofilbausteinen Querprofile und daraus als Ergebnis Statische Querprofile (Feser 2005). Querprofilbausteine sind zum Beispiel Böschung, Mulde, Bankett oder Schicht. Um die Konstruktionsvorschrift eines Querprofils im OKSTRA zu übergeben, ist das Objekt *RQCode* (RegelQuerschnittCode) vorgesehen (Kornbichler 2000). Die dynamische Konstruktion eines Querprofils wird hierbei als Abfolge von geometrischen Anweisungen im *RQCode* niedergelegt. Dadurch ist es möglich, alle Querprofile einer Achse, über verschiedene Programmsysteme hinweg, eindeutig zu beschreiben und aus den gegebenen Rahmenbedingungen dynamisch zu berechnen. Der *RQCode* folgt formal der Syntax der objektorientierten Programmiersprache Visual Basic. Die Statischen und Dynamischen Querprofile können parallel im OKSTRA zu jeder Trasse mit übergeben werden. Damit lässt sich nachprüfen, ob die Dynamischen Querprofile auch im Zielsystem wieder korrekt berechnet wurden. In (Feser et al. 2004) ist die Funktionsweise des Dynamischen Querprofils ausführlich beschrieben.

Klarer Vorteil des Dynamischen Querprofils ist dessen Anpassung an veränderte Ausgangsbedingungen. Änderungen an Achsen, Gradienten, Gelände, Breiten oder Querneigung haben unmittelbar Einfluss auf die Querprofilkonstruktion. Allerdings ist das Dynamische Querprofil bisher nur prototypisch umgesetzt und nicht Teil des OKSTRA-Standards. Zudem wird es aktuell nicht mehr weiterentwickelt.

2.3 Weitere Standards

RoadXML ist ein offenes Datenformat zum Austausch von Straßennetzen für Simulationsprogramme (Ducloux et al. 2009). Der Standard wurde in Frankreich entwickelt, um die Interoperabilität von Simulationstools zu verbessern. Lediglich Fahrspuren und deren Grenzen können als Querprofil definiert werden, was für eine Anwendung im Bauingenieurwesen nicht ausreicht. Weiter werden derzeit am Korea Institute of Construction Technology erste Konzepte der IFCRoad-Erweiterung, basierend auf IFC, entwickelt (Moon 2014). JHDM (Japan Highways Data Model) ist ein Produktdatenmodell aus Japan zur Abbildung von Highways

(Furuta et al. 2006). Neben Straßenquerschnitten werden auch Tunnel- und Brückenquerschnitte unterstützt. Inframodel ist eine finnische Adaption von LandXML (Inframodel.fi 2014). Die aktuelle Version Inframodel 3 basiert auf LandXML 1.2. Aufgrund der Nähe zu LandXML verhält sich Inframodel bezüglich der Querprofilkonstruktion wie LandXML.

3. Erweiterung von IFC-Alignment um Straßenquerschnitte

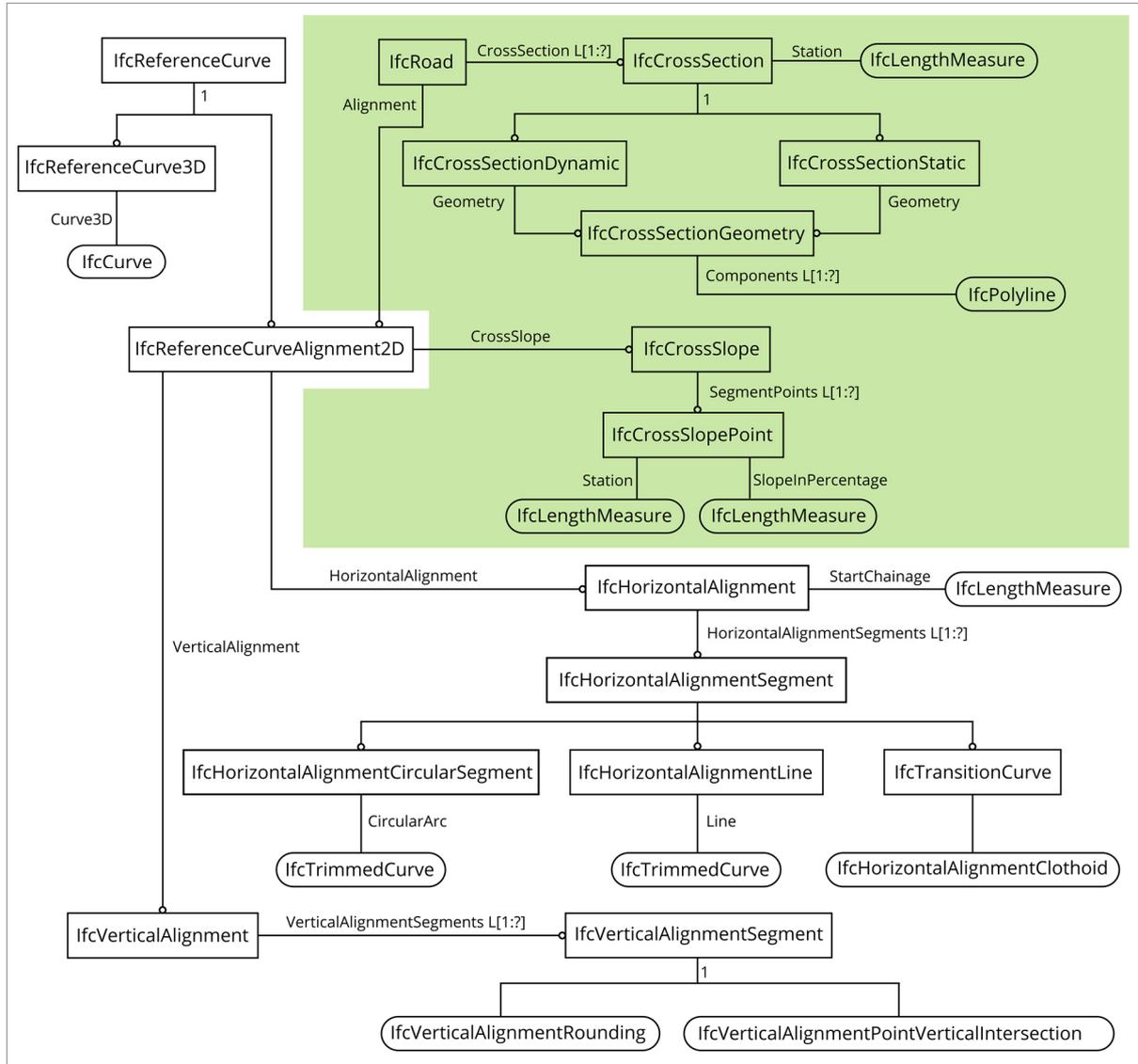


Abbildung 5: Ursprünglicher IFC-Alignment-Vorschlag mit Erweiterung um Querprofile

Abbildung 5 zeigt die Erweiterung des ursprünglichen Vorschlags für das IFC-Alignment (Amann et al. 2013) um Querprofile. Die ergänzten Entitäten sind im EXPRESS-G-Diagramm grün hinterlegt. Zunächst wurde die Entität *IfcReferenceCurveAlignment2D* durch ein Querneigungsband (*IfcCrossSlope*) ergänzt. Das Querneigungsband wird als Punktfolge von *IfcCrossSlopePoints* abgebildet. Jeder dieser Punkte speichert eine Stationierung (*Station*) und die zugehörige Querneigung (*SlopeInPercentage*). *IfcCrossSlope* verwaltet dabei eine Liste von nacheinander folgenden *IfcCrossSlopePoints* Wertepaaren, bestehend aus der jeweiligen *Station* und *SlopeInPercentage*. Um die Querneigung für eine Stationierung zu ermitteln, die nicht explizit gespeichert wurde, kann einfach zwischen den entsprechenden *IfcCrossSlopePoints* linear interpoliert werden. Die *IfcCrossSlope* ist optional. Demnach können Trassen gespeichert werden, welche selbst kein Querneigungsband besitzen.

Um Straßenquerschnitte beschreiben zu können, wurden die Entitäten *IfcCrossSection*, *IfcCrossSectionStatic* und *IfcCrossSectionDynamic* eingeführt. Das Rampenband kann aus dem Querneigungsband (*IfcCrossSlope*) und dem Straßenquerschnitt (*IfcCrossSection*) rekonstruiert werden, daher wird dieses nicht explizit im vorgestellten EXPRESS-Schema berücksichtigt.

Zur Speicherung der *IfcCrossSection*-Elemente wurde die Entität *IfcRoad* eingeführt. Eine *IfcRoad*-Entität referenziert ein *IfcReferenceCurveAlignment2D*-Objekt. Das *IfcReferenceCurveAlignment2D*-Objekt beinhaltet den Lage- und Höhenplan sowie das Querneigungsband. Neben dem Alignment referenziert das *IfcRoad* Objekt auch eine Liste von *IfcCrossSection*-Elementen. Von *IfcCrossSection* erben zwei weitere Klassen, nämlich *IfcCrossSectionStatic* und *IfcCrossSectionDynamic*. *IfcCrossSectionStatic* definiert das Querprofil an einer Station. Diese Stationierung wird im Attribut *Station* der *IfcCrossSection* gespeichert. Die *IfcCrossSectionStatic* referenziert selbst auf ein *IfcCrossSectionGeometry*-Element, welches den Straßenquerschnitt mit Hilfe einer Liste von *IfcPolyline*-Objekten abbildet. Zur Beschreibung eines Querprofils wird also ein 2D Profil verwendet. Der Ursprung des Querschnitts ist dabei der zugehörige 3D-Achspunkt der aktuellen Stationierung. Definiert ist der Querschnitt senkrecht zur Tangente am aktuellen Stationierungspunkt. Das statische Querprofil (*IfcCrossSectionStatic*) ist unabhängig vom Querneigungsband. Abbildung 6 zeigt die geläufige zweidimensionale Beschreibung des Krümmungs-, Querneigungs- und Rampenbands einer Trasse.

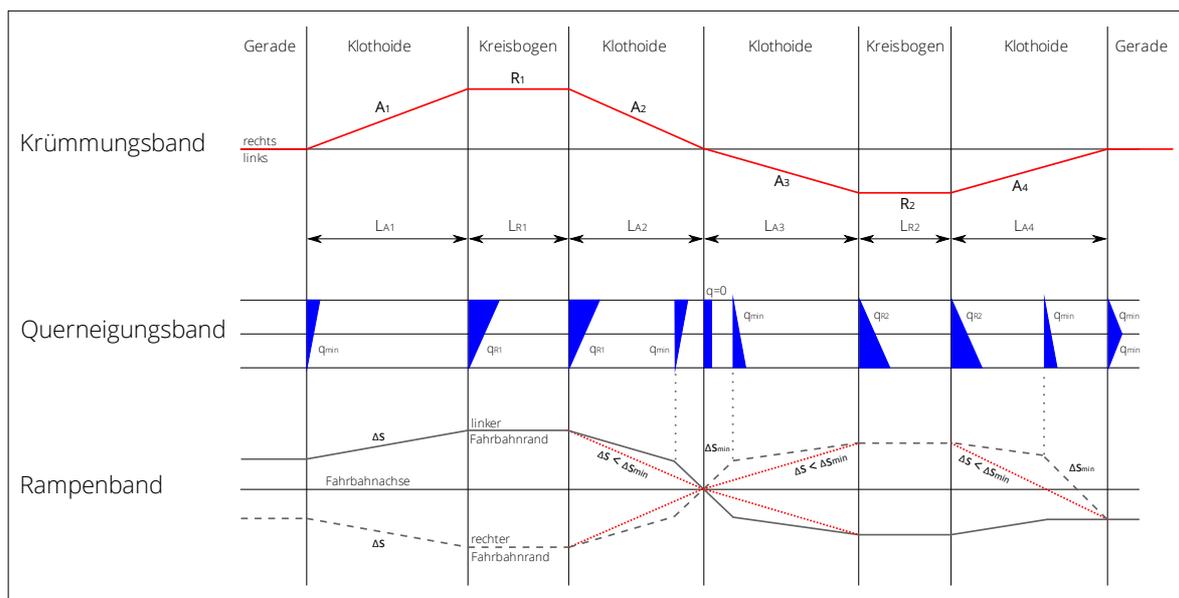


Abbildung 6: Krümmungs-, Querneigungs- und Rampenband für eine Wendelinie

Das dynamische Querprofil (*IfcCrossSectionDynamic*) ist im Unterschied zum statischen Querprofil abhängig vom Rampenband. Es speichert seine Geometrie in gleicher Weise wie das statische Querprofil. Jedoch dient die Geometrie als eine Art Schablone, die das Querprofil in unverdrehtem Zustand beschreibt. Damit ein Querprofil auch für andere, nicht explizite Stationierungen ermittelt werden kann, muss das Querneigungsband berücksichtigt werden. Möchte man für die Stationierung s das Querprofil berechnen, muss man einfach die Querneigung an der Stationierung s ermitteln und die Schablone entsprechend verdrehen. Ebenso könnte man bei einer parametrisierten 3D-Kurve vorgehen. Dieser Anwendungsfall ist allerdings unüblich und wurde daher noch nicht entwickelt.

4. Implementierung

Tabelle 1 zeigt einen Auszug einer STEP-Datei. Die STEP-Datei wurde modifiziert damit sie besser lesbar ist.

Tabelle 1: Ausschnitt einer IFC-Alignment-STEP-Datei mit der Erweiterung um Straßenquerschnitte

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('IFC4'),'2;1');
FILE_NAME('IfcAlignment-export.ifc','2014-07-17T23:38:32',(''),('',''),'','IfcAlignment','');
FILE_SCHEMA(('IFC4'));
ENDSEC;
DATA;
...
#35=IFCREferenceCurveAlignment2D($,$,$,$,$,$,$,$,#36,#96,$);
...
#135=IFCRoad($,$,$,$,$,$,$,$,$,#35,($136,#139,#142,#145,#148,#151,#154,#157,#160,#163,#166,#169,#172,#175,#178,#181,#184,#187,#190,#193,#196,#199,#202,#205,#208,#211,#214,#217,#220,#223,#226,#229,#232,#235));
#136=IFCCrossSectionStatic(240,#137);
#137=IFCCrossSectionGeometry((#138));
#138=IFCPolyline(...);
#139=IFCCrossSectionStatic(245,#140);
#140=IFCCrossSectionGeometry((#141));
#141=IFCPolyline(...);
#142=IFCCrossSectionStatic(250,#143);
#143=IFCCrossSectionGeometry((#144));
#144=IFCPolyline(...);
#145=IFCCrossSectionStatic(253.30000000000001,#146);
#146=IFCCrossSectionGeometry((#147));
#147=IFCPolyline(...);
#148=IFCCrossSectionStatic(254.30000000000001,#149);
#149=IFCCrossSectionGeometry((#150));
#150=IFCPolyline(...);
#151=IFCCrossSectionStatic(255,#152);
#152=IFCCrossSectionGeometry((#153));
#153=IFCPolyline(...);
#154=IFCCrossSectionStatic(260,#155);
#155=IFCCrossSectionGeometry((#156));
#156=IFCPolyline(...);
#157=IFCCrossSectionStatic(260.65600000000001,#158);
#158=IFCCrossSectionGeometry((#159));
#159=IFCPolyline(...);
#160=IFCCrossSectionStatic(260.80000000000001,#161);
#161=IFCCrossSectionGeometry((#162));
#162=IFCPolyline(...);
...
```

Die vorgestellte IFC-Alignment-Erweiterung wurde prototypisch in die frei verfügbare TUM Open Infra Platform integriert (siehe Abbildung 7). Dazu wurde das IFC-Alignment-EXPRESS-Schema entsprechend erweitert und ein Late Binding erzeugt. Testweise wurden LandXML-Dateien in das neue IFC-Alignment-Schema umgewandelt und dafür ein Exporter bzw. Importer entworfen.

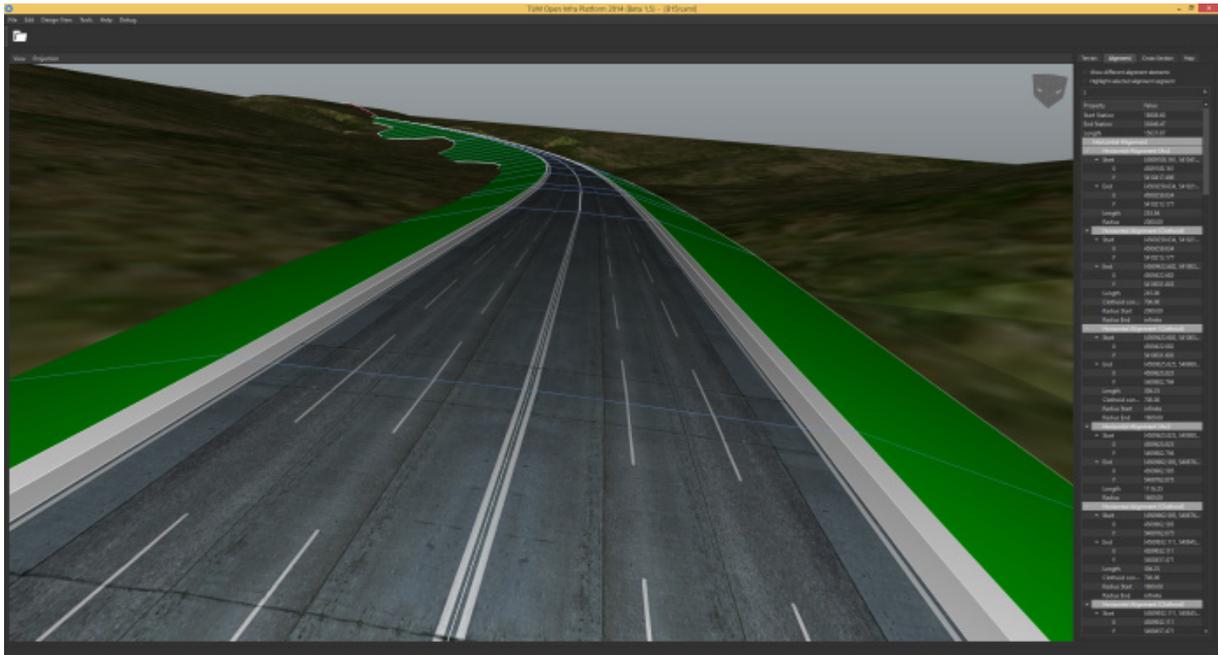


Abbildung 7: Integration des Datenmodells in die TUM Open Infra Plattform

5. Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, wie das IFC-Alignment-Schema, das in (Amann et al. 2013) vorgestellt wurde, um Straßenquerschnitte erweitert werden kann. Bislang wurden nur knotenfreie Straßenabschnitte betrachtet. Knotenpunkte werden im bisherigen Schema nicht berücksichtigt. In weiteren Entwicklungen dieses Schemas sollen diese integriert werden. Angedacht ist hier ein *IfcRoadIntersection*-Element, das als Andockstelle für unterschiedliche Alignment-Elemente dienen soll, um verschiedene Straßen miteinander zu verbinden.

Quellen

- Amann, J.; Borrmann, A.; Hegemann, F.; Jubierre, J.R.; Flurl, M.; Koch, C.; König, M. (2013). A Refined Product Model for Shield Tunnels Based on a Generalized Approach for Alignment Representation In: Proc. of the ICCBEI 2013, Tokyo, Japan
- buildingSMART (2014). Industry Foundation Classes IFC4 Official Release, <http://www.buildingsmart-tech.org>
- LandXML.org (2014). LandXML 2.0 (Working Draft) Schema Announced, <http://landxml.org/>
- OKSTRA-Pflegestelle im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2014). Objektkatalog für das Straßenwesen Version 2.016., <http://www.okstra.de/>
- Feser, B.; Kornbichler, D.; Rosenthal, R. (2004). Entwicklung des Objektes "Dynamisches Querprofil": Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 09.122/2000/DGB, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss., Bremerhaven
- Feser, B. (2005). Dynamisches Querprofil im OKSTRA-Prototyping, 23–26.
- Kornbichler, D. (2000). Zwischenbericht zur Geometrischen Modellierung., 1–19
- Ducloux, P.; Millet, G. (2009). Road Network Description XML Format Specification, 1–88.
- Moon H. (2014). Development Concept of IFCRoad Extension in Korea, Korea Institute of Construction Technology, 1-14
- Inframodel.fi (2014). Application schema, version 3.0.1, <http://www.inframodel.fi/en/>
- Furuta, H.; Shibasaki, R.; Tanaka, S.; Froese, T. (2006). JHDM Project – Japan Highways Data Model, 1st Asia Construction IT Round Table Meeting, 1-39