

## Analyse von Einsatzmöglichkeiten von verbundenen Informationen (Linked Data) und Ontologien und damit befassten Technologien (Semantic Web) im Bereich des Straßenwesens

FA 1.195

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl Computergestützte Modellierung und Simulation (Prof. Dr.-Ing. A. Borrmann)

Bearbeiter: Beetz, J. / Amann, J. / Borrmann, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Februar 2018

### 1 Aufgabenstellung

#### 1.1 Zielsetzung

In diesem Projekt wurden methodische Ansätze und Prototypen zur Verknüpfung des Objektkatalogs für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA<sup>1</sup>) mit anderen Informationsmodellen auf Basis der Technologien "Linked Data" und "Semantic Web" erarbeitet und anhand beispielhafter Datensätze auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft.

In diesem Zusammenhang wurde die Einbeziehung und Kontextualisierung ähnlicher und ergänzender Informationsmodelle im europäischen und internationalen Raum sowie der kritischen Auslotung des Entwicklungspotenzials wechselseitiger Anbindungen in verschiedenen Anwendungsfällen untersucht.

Im Zuge des Projekts wurde dabei überprüft, inwiefern der OKSTRA eine mögliche Rolle als zukünftiges Grundmodell eines gesamteuropäischen Modells einnehmen kann. Zunächst auf binationale (DE/NL) Beispiele beschränkt, wird im Projekt eine technische Machbarkeitsstudie grenzüberschreitender Straßen- und Wegeplanung erarbeitet, die die Möglichkeiten und Einschränkungen der Verwendung von Linked-Data-Technologien demonstriert.

Erkenntnisse und Ergebnisse wurden darüber hinaus auch auf ihre mögliche Bedeutung für den föderalen beziehungsweise länderübergreifenden Einsatz begutachtet, die einer Vernetzung der verschiedenen nationalen Systeme zulässt.

### 2 Untersuchungsmethodik

Im Kern des Untersuchungskonzepts stand die Überführung des bislang in UML<sup>2</sup> definierten Datenmodells OKSTRA in die Ontology Web Language (OWL). Für die Überführung gibt es unterschiedliche Herangehensweisen, deren jeweilige Vor- und Nachteile dokumentiert wurden, bevor eine Abbildung ausgewählt und umgesetzt wurde. Auf der Basis des okstraOWL

wurden anschließend Verfahren des Linked Data angewandt, um beispielhaft die niederländische Objektbibliothek CB-NL beziehungsweise die Object-Type Library des niederländischen

Infrastrukturministeriums (RWS-OTL) mit dem OKSTRA zu verbinden. Diese Verknüpfung wurde auf Instanzebene mithilfe von realen Datensätzen erprobt und der Gesamtansatz anhand der Formulier- und Verarbeitbarkeit von modellübergreifenden Anfragen evaluiert.

#### 2.1 Bewertung der Arbeiten zu Linked Data in der Geoinformatik

Es wurde eine detaillierte Übersicht über die Gesamtsituation der Datenverarbeitung in Straßenwesen und Infrastruktur ausgearbeitet. Diese Übersicht geht näher auf einzelne heute verwendete Datenmodelle in der Geoinformatik (GML, CityGML, InfraGML), des Bereichs der Infrastruktur und des Straßenwesens (LandXML, IfcAlignment, IfcRoad) sowie auf die existierenden Modelle im Hochbau (IFC, ifcOWL) ein, die für die Vernetzungen mittels Linked-Data-Prinzipien infrage kommen.

Die Anfragesprache SPARQL gehört neben RDF und OWL zu den Bausteinen des Semantic Web. Mittels SPARQL können RDF-Datensätze abgefragt werden. Der OGC-Standard GEOSPARQL<sup>3</sup> dient der Abbildung von GML-Daten als RDF/OWL-Datensätze sowie der Möglichkeit zur Abfrage der so abgelegten Informationen mithilfe der Abfragesprache SPARQL. Er definiert hierzu eine Ontologie für geografische Informationen auf der Basis des General Feature Model, Simple Features und Feature Geometry sowie eine Menge von SPARQL-Filterfunktionen. Letzteres schließt unter anderem die Nutzung von topologischen Beziehungen (Egenhofer-Modell und RC8-Modell) als Filter im Rahmen einer Abfrage ein. Heraushebenswert ist auch die effektive Beschreibung geometrischer Informationen als Well-Known Text (WKT).

Dies verringert sehr effektiv den Overhead, der bei unmittelbarer Anwendung von RDF auf die sehr umfangreichen geometrischen Informationen entstehen würde. Voraussetzung für den Einsatz von GEOSPARQL ist die Nutzung eines sogenannten Endpoint, der derartige Anfragen unterstützt und verarbeiten kann, insbesondere in Hinblick auf die geografischen Filterfunktionen.

#### 2.2 Analyse von OKSTRA und CB-NL

Für den OKSTRA wurden die Schemata S\_Entwurf und S\_Bauwerk detailliert untersucht und insbesondere die geometrischen Beschreibungsformen, etwa von Trassenkurven oder Geländemodellen, dargestellt. Im Ergebnis konnte festgehalten werden, dass der OKSTRA eine äußerst umfangreiche, detaillierte und feingranulare Beschreibung von Objekten des Straßenwesens

<sup>1</sup> Auf die Verwendung des Markenregister-Zeichens OKSTRA® wird aus Gründen der Lesbarkeit im gesamten Dokument verzichtet.

<sup>2</sup> bzw. bis vor wenigen Jahren in ISO 103030-11 STEP EXPRESS. Das derzeitige UML-Schema ist mithilfe des offenen XML-Standards als

XML verfügbar und in den hier dokumentierten Untersuchungen als Grundlage verwendet worden.

<sup>3</sup> <http://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>

bereitstellt. Insbesondere die geometrischen Beschreibungsformen sind durch Nutzung von GML-konformen Geometrieelementen weitgehend auf die Bedürfnisse des Anwendungsbereichs zugeschnitten. Einschränkend ist anzumerken, dass ausschließlich 2-D-Geometrien zum Einsatz kommen. Trassierungselemente werden durch spezifische OK-STRA-Objekte definiert. Der OKSTRA wird mithilfe der konventionellen Datenmodellierungstechniken UML und XMI definiert.

Die "Conceptenbibliothek Nederland" (CB-NL) ist als Ontologie mithilfe der Beschreibungssprache OWL definiert und als eine zentrale Sammlung von Konzepten und als Anknüpfung für bestehende und zukünftige Vokabulare, Klassifikationen, Ontologien und Datenmodelle angelegt. Die hierin modellierten Konzepte haben einen hohen Grad von Abstraktion und sind nicht als Datenmodell etwa zu einer umfassenden und detaillierten Modellierung konkreter Bauvorhaben in Hoch- oder Tiefbau gedacht. Der zentrale Anwendungsfall der CB-NL ist die Verknüpfung unterschiedlicher Vokabulare und Datenmodelle in einem gemeinsamen Modell. Der Kern des CB-NL-Modells ist dabei als Anker konzipiert, an dem Relationen zu anderen Vokabularen angehängt werden können.

Die Object Type Library (OTL) von Rijkswaterstaat (RWS-OTL) ist im Gegensatz zur allgemeinen CB-NL darauf ausgelegt, konkrete Eigenschaften zu erfassen, mit denen beispielsweise funktionale Ausschreibungen, Vorgaben und grundlegende Systembäume einer Reihe unterschiedlicher Infrastrukturarten beschrieben werden können. Die RWS-OTL trennt bei der Beschreibung von Straßenwegen strikt zwischen funktionalen und physischen Objekten. Dabei unterscheidet die RWS-OTL sieben Detaillierungsniveaus. Die Geometriebeschreibung ist weder in der RWS-OTL noch in der CB-NL aufgenommen, sondern wird mittels geeigneter externer Datensätze in Form von generischen IFC- oder GML-Modellen erfasst und auf indirekte Weise durch OTL-Konzepte semantisch ausgezeichnet.

CB-NL dient als grundlegende Ontologie zur Verknüpfung unterschiedlicher Klassifizierungs- und Auszeichnungssysteme in den Niederlanden. RWS-OTL hat als wesentliches Anwendungsgebiet die Bestandsverwaltung (engl. Asset-Management), der Straßenentwurf ist hingegen weitgehend ausgenommen. Die größten Überschneidungen zwischen OKSTRA und RWS-OTL ergeben sich in den Bereichen Straßennetzwerk, Kreuzungen, Straßenaufbau (Bauliche Straßeneigenschaften) und Beschilderung. In allen anderen Bereichen gibt es nur kleine beziehungsweise keine Überlappungen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich OKSTRA und RWS-OTL in ihrer Beschreibungstiefe und -detaillierung zum Teil erheblich unterscheiden.

### 2.3 Übersetzung des OKSTRA in OWL

Um OKSTRA und auf ihm basierende Instanzdatensätze als Linked-Data-Strukturen darzustellen und zu verarbeiten, wurden folgende Schritte umgesetzt:

1. Überführung des Datenschemas (von EXPRESS, XMI, XSD in RDF/RDFS/OWL)

2. Überführung von (beispielhaften) Instanzdaten, die momentan als XML, SPFF oder in Form von Web Services vorliegen, in eine der RDF-Serialisierungsformen
3. Verfügbarmachung beider Daten in Linked-Data-konformen Infrastrukturen (SPARQL Endpoints).

Jeder einzelne dieser drei Hauptbestandteile der Repräsentierung von OKSTRA-Daten als RDF/OWL kann auf unterschiedliche Weise erreicht werden. Obwohl es zahlreiche "Best Practices" aus anderen Fachbereichen und ähnlich gelagerten Forschungs- und Entwicklungsfragestellungen gibt, gibt es bislang keinen "golden Weg". Jede Entscheidung in diesen Hauptschritten hat Konsequenzen hinsichtlich der Handhabbarkeit der resultierenden Informationen und Infrastrukturen. Im Bericht werden die verschiedenen Entscheidungsgrundlagen erörtert, auf deren Basis die Umsetzung einer Linked-Data-Repräsentation des OKSTRA realisiert wurde.

Im Ergebnis wurde mit okstraOWL eine Abbildung des in XMI definierten OKSTRA-Schemas auf OWL vorgenommen. Hinsichtlich der Geometrie-Beschreibung wurde sich für die Übernahme der GML/GEO- SPARQL-Ansätze mit WKT entschieden. In dieser Variante werden die vom OGC entwickelten Ansätze zur platzsparenden, effizienten Darstellung von Geometrien als RDF-Graphen mittels des sogenannten "Well-Known Text" (WKT) übernommen. Da insbesondere Listen, wie sie etwa für Linien, Polygone etc. unerlässlich sind, nur äußerst umständlich und ineffizient in RDF mit den entsprechenden rdf:list-Elementen dargestellt werden können, ist die Basisidee von WKT, Punkte, Linien, Polygone etc. als Literal-Werte, das heißt Zeichenketten in einem Mikroformat, platzsparend zu erfassen.

Auf Basis der Abwägungen und Entscheidungen in Hinblick auf die Abbildung von OKSTRA auf OWL wurde eine entsprechende Konvertierung zur Generierung des okstraOWL-Schemas vorgenommen. Der Fokus lag dabei auf dem Schema S\_Entwurf. Um dieses als OWL-Schema zu repräsentieren, mussten auch die Definitionen der Basisschemata okstra-basis.xsd, okstra-typen.xsd sowie S\_Allgemeine\_Geometrie-objekte und S\_Allgemeine\_Objekte konvertiert werden. Das entstandene Schema wurde ausführlich dokumentiert und als dereferenzierbarer SPARQL-Endpoint auf dem Server der BAST bereitgestellt, was eine unmittelbare Nutzung des Schemas in SPARQL-Anfragen ermöglicht. Daneben wurde ein Konverter für Instanzdatensätze entwickelt, der es erlaubt, OKSTRA-Instanzdaten der oben genannten Schemata in entsprechende RDF-Datensätze zu überführen.

### 2.4 Vergleich und Harmonisierung der Definition der Objekte und ihrer Attribute

Die verschiedenen Modellierungsmöglichkeiten von semantischen Verknüpfungen mehrerer Modelle in Hinblick auf ihre Einsetzbarkeit einer okstraOWL<->CB-NL/OTL-Kopplung wurden untersucht. Ausgehend von der entwickelten OWL-Repräsentation des OKSTRA wurden verschiedene Wege untersucht, um beide Modelle miteinander zu verknüpfen. Dazu wurde unter Zuhilfenahme von Linked-Data-Techniken (zum Beispiel Silk Work-

bench<sup>4</sup>) zunächst ein semi-automatisches Alignment der Modelle erzeugt, indem Äquivalenz-Beziehungen (owl:sameAs, rdfs:seeAlso, skos:closeMatch etc.) zwischen einzelnen Konzeptdefinitionen und deren Attributen definiert wurden. In einem zweiten Schritt wurden diese Beziehungen durch geeignete Werkzeuge manuell überprüft und bestätigt.

Aufgrund der vorhandenen Datengrundlage und insbesondere der Fokussierung der Übersetzungen auf das Teilschema Entwurf mit rund 450 übersetzten Konzepten und Eigenschaften, sind diese automatisierten Verknüpfungen einzelner Konzepte zwar ein hilfreicher Start, bedürfen aber für ein vollständiges, praxistaugliches Mapping, sehr viel manueller Nacharbeit und der gezielten Erzeugung von Verknüpfungen durch Experten. Exemplarische Verknüpfungen wurden für einzelne Szenarien des AP 6 vorgenommen, um die mögliche Verwendbarkeit zu untersuchen.

## 2.5 Anreicherung von RWS-Datenbeständen mit OKSTRA-Inhalten

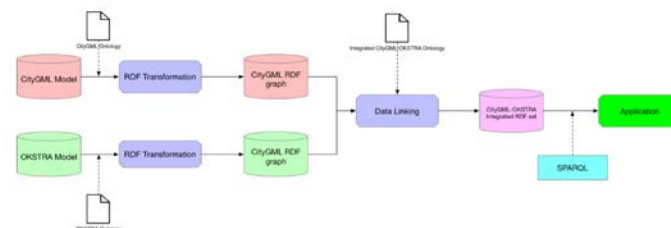
Für eine Untersuchung der möglichen Nutzung der Modelle in jeweils anderen Kontexten wurden die im AP 5 beschriebenen inhaltlichen Betrachtungen von Mappings anhand mehrerer von der BAST und RWS zur Verfügung gestellter Datensätze für ausgewählte Szenarien untersucht. Dabei handelt es sich jeweils um ein Netzwerkmodell der Bundesfern- und Landesstraßen in Nordrhein-Westfalen sowie um das Autobahnnetz der Provinz Limburg, die an verschiedenen Stellen ineinander übergehen (Bild 1).



**Bild 1:** Grafische Übersicht eines gemeinsamen Datenraums aus Niederländischen (schwarz) und Deutschen (grün) Straßendaten aus verschiedenen Quellen in verschiedenen Datenformaten

Hierin werden exemplarisch und grafisch der unterschiedliche Charakter und Informationsgehalt beider Datensätze deutlich: Die NRW-Daten enthalten vor allem topologische Netzdaten und

bestehen zum überwiegenden Teil aus einzelnen Abschnitt-Elementen, die einzelne Kurvengeometrien als GML-Repräsentationen enthalten. Der niederländische Datensatz ist hingegen auf wenige Einzeltrassen beschränkt, weist jedoch einen höheren Detaillierungsgrad auf. Im Gegensatz zu den OKSTRA-Daten, in denen geometrische Repräsentation und andere, zum Beispiel alphanumerische Daten in einem Graphen zusammengefasst sind, setzen sich die RWS-OTL-Daten aus einzelnen Abschnitten des COINS<sup>5</sup>-Containers zusammen. Um die heterogenen NRW- und RWS-OTL-Datensätze gemeinsam zu nutzen, können beide Datensätze durch die jeweils anderen Vokabulare zusätzlich ausgezeichnet werden. Details zur technischen Umsetzung sind dem Bericht zu entnehmen.



**Bild 2:** Schematische Darstellung der Verlinkung von okstra-OWL-Daten mit CityGML-Daten (Zheng 2017)

Eine weitere Fallstudie zur Verlinkung von heterogenen Daten mit okstraOWL-Daten wurde in Form einer Verbindung von 3-D-Daten im städtischen Raum durchgeführt und im Rahmen einer begleitenden Masterarbeit ausgearbeitet<sup>6</sup>. Dabei wurden Teilmodelle des flächendeckenden CityGML LOD 2-Modells von NRW, mit dem Fokus auf einen Innenstadt-Teil von Aachen<sup>7</sup>, mit OKSTRA-Daten des Landes NRW der B 1, B 1A und L 136 verbunden und mithilfe von räumlichen Abfragen mittels GeoSPARQL verbunden. Der grundlegende technische Aufbau der Fallstudie ist in Bild 2 schematisch wiedergegeben.

Die Transformation der CityGML-Daten erfolgte durch eine adaptierte Version einer OWL-Repräsentation des CityGML-Metamodells der Universität Genf<sup>8</sup>. Es wurden automatisiert Links zwischen den verschiedenartigen Objekten beider Graphen generiert, die sich die impliziten räumlich-geografischen Beziehungen zunutze machen. Zusammen mit den vielfältigen Informationen, die im CityGML-Modell enthalten sind, wie etwa der Nutzungsart oder der Höhe der jeweiligen Gebäude, kann der so entstandene gemeinsame OKSTRA/CityGML-Informationsraum für Fragestellungen wie "Wo befinden sich Kindergärten und Schulen im Umkreis von 100 m in der Nähe zu einer Bundesstraße?" oder "Welche Gebäude mit einer Höhe von über 20 m sind näher als 50 m an einer Schnellstraße?" genutzt werden.

Die hier beschriebenen Szenarien zur Verlinkung und Anreicherung von Informationen durch okstraOWL illustrieren die vielversprechenden Anwendungen, die mithilfe breiter Unterstützung

<sup>4</sup> <http://silkframework.org>

<sup>5</sup> COINS ist ein niederländisches Standardformat für die Übergabe von Planungsdaten im Infrastrukturbau an den Bauherrn und konzeptionell sowie strukturell ähnlich zum Information Container Data Drop (ICDD), der sich momentan als ISO 21597 im internationalen Standardisierungsprozess befindet

<sup>6</sup> Zheng, Yuan, 2017 "Improving the Interoperability of Between City and Infrastructure Information. An Integration of CityGML and OKSTRA

Data Based On Semantic Web and Linked Data Technology" Technische Universität Eindhoven

<sup>7</sup> Ausschnitt im ETRS89-UTM32-Geo-Koordinatensystem-Fenster (295000.0,5629000.0), (295000.0, 5630000.0), (296000.0, 562000.0) and (296000.0, 563000.0)

<sup>8</sup> <http://cui.unige.ch/isi/onto/citygml2.0.owl>

von standardkonformen Werkzeugen aus dem Bereich Linked Data flexibel und verteilt realisiert werden können. Der deutliche Vorteil der Herangehensweise mit Linked Data gegenüber konventionellen Datenbanklösungen liegt in der einfachen Handhabbarkeit, leichten Erweiterbarkeit, Verteilbarkeit und Flexibilität der Erstellung der Abfragen. In den Tests konnte gezeigt werden, wie auf einfache Weise Strukturen des semantisch reichen OKSTRA-Modells herangezogen werden können, um andere Daten semantisch anzureichern und über Domänengrenzen hinweg einheitlich anwendbar zu machen.

## 2.6 Weiterführende Modellverwendungen

Die Verfügbarkeit des OKSTRA-Modells im Format okstraOWL erlaubt die Anwendungen einer ganzen Reihe von Funktionalitäten des Semantic Web. Dabei steht zunächst die Möglichkeit der Abfrage von Informationen mit der Sprache SPARQL im Vordergrund. Damit ist zunächst die Möglichkeit der umfassenden Analyse von OKSTRA-Daten mithilfe standardisierter Werkzeuge möglich. Dies umfasst alle Bereiche, die von OKSTRA abgedeckt werden, vom Entwurf bis zur Zustandserfassung und -bewertung. Mit Vorliegen von okstraOWL ist es möglich, in einfacher Weise Objekte des Schemas S\_Entwurf mit denen des Schemas S\_Strassenzustandsdaten zusammenzuführen. Bislang liegen diese Objekte ohne Verknüpfungsmöglichkeit in getrennten Schemata vor. SPARQL erlaubt es darüber hinaus insbesondere, Datenquellen aus anderen Domänen (und anderen Datenmodellen) einzubeziehen.

Neben der integrativen Anfrage von OKSTRA und CB-NL gibt es eine Fülle von weiteren Anwendungsmöglichkeiten in diesem Kontext. Dazu gehört zum Beispiel die integrative datenmodellübergreifende Formulierung und Beantwortung von Anfragen, bei denen in CityGML vorliegende 3-D-Stadtmodelle zusammen mit OKSTRA-Datensätzen ausgewertet werden, um beispielsweise Fragen der Lärmimmission zu beantworten. Weitere interessante Anwendungsfelder liegen in der Zusammenführung von Unfall- mit Straßenzustands- und Wetterdaten, um beispielsweise mögliche Korrelationen zwischen der fehlenden Rauigkeit des Straßenbelags und dem Auftreten von Unfällen zu identifizieren.

## 2.7 Prototypische Implementierung

Die TUM Open Infra Platform wird am Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation der Technischen Universität München entwickelt. Die Software wird kostenlos zur Verfügung gestellt und kann von der Lehrstuhlwebseite heruntergeladen werden<sup>9</sup>. Im Vordergrund der Software steht die Förderung von Open-BIM-Ansätzen für die Infrastrukturplanung durch die prototypische Implementierung verschiedener offener Bauwerksdatenmodelle. Dabei werden Standards wie OKSTRA, LandXML, InfraGML oder etwa IFC 4.1 unterstützt. Durch die Offenheit der Software kann diese auch als Referenzimplementierung herangezogen werden und so die Integration bestimmter Standards in andere Softwareprodukte beschleunigen.

<sup>9</sup> <https://www.cms.bgu.tum.de/oip>

<sup>10</sup> <http://www.okstra.de/>

Die TUM Open Infra Platform (OIP) wurde im Rahmen dieses Projekts um Exportmöglichkeiten für das Schreiben von okstraOWL-Instanz-Dateien erweitert. Dabei wurde die OKSTRA-Klassenbibliothek (OKLABI) genutzt, die kostenfrei von der OKSTRA-Webseite<sup>10</sup> bezogen werden kann. Diese wird genutzt, um OKSTRA-Instanzdaten einzulesen. Für das Schreiben von OWL-konformen Dateien wurde die Bibliothek Raptor RDF Syntax Library<sup>11</sup> verwendet. Durch die Erweiterung der OIP können okstraOWL-Instanz-Dateien als Turtle- und RDF/XML-Dateien geschrieben werden. Gelesen werden können alle OKSTRA-Versionen, die durch OKLABI unterstützt werden, das heißt prinzipiell alle OKSTRA-Versionen. Beim Export als OWL-Datei dient jedoch immer das OKSTRA-Schema 2.017 als Grundlage. Das heißt, wird beispielsweise ein Höhenplan im OKSTRA-Format 1.014 importiert, so kann dieser zum Beispiel das Fachobjekt Tangentenfolge enthalten, welches vom OKSTRA-2.017-Standard aber nicht mehr unterstützt wird. In diesem Fall wird ein automatisches Upgrade der alten OKSTRA-Version zu der neuen OKSTRA-Version durchgeführt und alte Fachobjekte entsprechend durch neue ersetzt.

## 3 Schlussfolgerung

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Überführung des mittels XMI definierten Datenaustauschstandards OKSTRA zur Beschreibung von Daten des Straßenwesens in eine Repräsentation auf Basis der Ontology Web Language (OWL) realisiert. Dadurch stehen nun Methoden und Techniken des Semantic Web auch für OKSTRA-Datensätze zur Verfügung. Insbesondere ist im Sinne des Linked-Data-Ansatzes die Verknüpfung mit Datensätzen anderer Schemata beziehungsweise Domänen möglich. Dies kann unter anderem durch Nutzung der Anfragesprache SPARQL zur integrativen Analyse der Daten der verschiedenen Ontologien erfolgen.

Wie im Zuge von Fallstudien gezeigt, können auf diese Weise beispielsweise Daten der niederländischen Straßen-Ontologie CB-NL/RWS mit OKSTRA-Daten zusammen abgefragt und analysiert werden. Dadurch lassen sich eine Reihe von grenzüberschreitenden Anwendungsszenarien realisieren, wie zum Beispiel die Planung von Schwerlasttransporten. Andere Anwendungen von Linked Data im Straßenwesen liegen in der integrierten Analyse von 3-D-Stadtmodellen im Format CityGML mit OKSTRA-Daten oder der Verknüpfung von Bestands- mit Entwurfsdaten des OKSTRA-Formats. Für die Überführung von OKSTRA in okstraOWL standen eine Vielzahl unterschiedlicher Abbildungsoptionen zur Verfügung, deren jeweilige Vor- und Nachteile im Bericht ausführlich dargelegt wurden. Bestimmte Eigenheiten des OKSTRA-Standards wie beispielsweise die sogenannte Fachbedeutungslisten erschweren zwar das Mapping, grundsätzlich ist aber eine Semantik-wahrende Überführung möglich. Obgleich Linked-Data-Funktionalitäten mit der Definition von okstraOWL nun prinzipiell zur Verfügung stehen, hat sich im Zuge des Projekts (insbesondere bei der Arbeit mit realen Datensätzen) jedoch herausgestellt, dass die eigentliche Herausforderung bei der Verknüpfung verschiedener Ontologien in der unterschiedlichen semantischen Struktur und Granularität

<sup>11</sup> <http://librdf.org/raptor/>

der verschiedenen Datenmodelle liegt. Auch Methoden des semiautomatischen Matchings anhand textueller Übereinstimmungen können hier nur bedingt unterstützend wirken. Stattdessen ist es erforderlich, dass der Nutzer der Abfragemechanismen Detailkenntnisse zur Semantik und Struktur der beteiligten Ontologien besitzt und anhand dessen und unter Berücksichtigung des zu erzielenden Abfrageergebnisses implizite beziehungsweise manuelle Verknüpfungen herstellt. Die durchgehende gegebenenfalls europaweite Nutzung von Straßeninformationsbanken erfordert daher trotz der Verfügbarkeit des Semantic-Web und Linked-Data-Technologien eine prinzipielle Harmonisierung der Datenstrukturen insbesondere in Hinblick auf die semantische Struktur und Granularität.