

Systematische und effiziente Erhebung hochgenauer Straßengeodaten für Geoinformationssysteme und Fahrsimulationen

Andreas Richter¹ und Michael Scholz¹

Abstract: Die Entwicklung von Fahrerassistenz- und Automationssystemen benötigt domänenspezifische Datenformate für Fahrsimulation und Automation, die ein Straßennetzwerk logisch und vor allem geometrisch genau beschreiben. Da immer komplexere Situationen wie städtische Umgebungen benötigt werden und die dafür notwendigen Informationen mit der geforderten Genauigkeit nicht immer aus aktuell verfügbaren Geodaten bezogen werden können, sind spezielle Vermessungen notwendig. Um diese Datenerhebungen kosten- und zeiteffizient durchführen zu können, hat das DLR zusammen mit OEMs einen Leitfaden für die Erhebung und Konvertierung von Straßengeodaten in ein leichtgewichtiges Zwischenformat entwickelt, um daraus automatisiert in domänenspezifische Formate konvertieren zu können. Der Leitfaden wird mittels prototypischer Erhebung und anschließenden Datentransformation nach OpenDRIVE einer deutschen Stadtstrecke validiert und steht danach zur freien Verfügung durch Dritte.

Keywords: Fahrsimulation, Straßenbeschreibung, Geodaten, Leitfaden, OpenDRIVE

1 Einleitung

Die aktuell in der Entwicklung befindlichen Fahrerassistenz- und Automationssysteme werden immer komplexer, entsprechend werden auch der Test und die Absicherung immer komplizierter. Als allgemein akzeptiert gilt, dass wesentliche Bestandteile der Entwicklung und Tests durch Simulationen unterstützt werden, um den Zeit- und Kostenrahmen nicht zu sprengen. Entsprechend muss also auch in der Simulation die Komplexität abgebildet werden. Dies betrifft beispielsweise auch die Simulationsumgebung mit komplexen Straßennetzwerken, um urbane Umgebungen abbilden zu können. Der Einsatz von bereits existierenden Geodaten erscheint daher naheliegend, um mittels automatisierter Werkzeugkette benötigte 3D-Umgebungen und logische Straßennetze zu generieren und dadurch den immensen Zeitaufwand bei der manuellen Erstellung zu reduzieren. Das Projekt „Virtuelle Welt“ zeigt beispielhaft, welche Geodaten genutzt werden können und welche Verarbeitungsschritte notwendig sind, um das gewünschte Ergebnis zu erreichen [Ri16]. Es zeigt sich jedoch auch, dass es weiterhin keine ideale Datenquelle gibt, auch wenn immer mehr Geodaten digital verfügbar gemacht werden. Bei öffentlichen, kommerziell verfügbaren sowie

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Technologiefeld Datenerfassung und Informationsgewinnung, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig {andreas.richter, michael.scholz}@dlr.de

Katasterdaten müssen hinsichtlich der Genauigkeit oft Abstriche gemacht werden oder es fehlen zum Teil wichtige Detailinformationen, die für Fahrsimulatorumgebungen notwendig sind. Daher werden für Simulatordatenbasen häufig spezielle Vermessungen durchgeführt, um alle wesentlichen Informationen in der benötigten Genauigkeit aus einer Hand zu erhalten. Meist werden diese jedoch nur manuell aufbereitet, in proprietären Datenformaten gespeichert, und wegen des Aufwands nur kleinräumig erhoben. Die speziellen Datenformate lassen sich in der Regel nicht in bestehende amtliche Daten integrieren und eine Vermessung zur Aktualisierung amtlicher Daten erhebt weiterhin nicht für die Simulation relevante Daten.

Ein Leitfaden zur Erhebung von Geodaten soll diese unterschiedlichen Welten zusammenbringen: Großflächig erhobene, amtliche Geoinformationssystem- (GIS) bzw. CAD-Daten, die zusätzliche Detailinformationen beinhalten, um diese Daten auch für Simulationszwecke und als hochgenaue Karte für das automatische Fahren nutzen zu können. Dabei muss die Erhebung auf einem einfachen Prinzip basieren, damit die Kosten für großräumige Vermessung nicht ins Unermessliche steigen, aber dennoch eine Konvertierung in die Zielformate einfach und möglichst automatisiert erfolgen kann.

1.1 verfügbare Geodaten

Im Zeitalter der „Industrie 4.0“ ist die Digitalisierung auch von Geodaten nicht mehr aufzuhalten, zunehmend sind Geodaten frei verfügbar, aber auch das kommerzielle Angebot wächst stetig. Kommunen nutzen digitale Stadtmodelle, um bspw. Solarpotentialanalysen oder Lärmausbreitung berechnen zu können. Stadtgrün, Beschilderung und Lichtsignalanlagen sowie Stadtbeleuchtung werden in Geodatenbanken verwaltet, Stadtpläne mit genauer Straßentopographie digitalisiert. Aus Befliegungen werden nicht nur Luftbilder erstellt, sondern auch digitale Geländemodelle abgeleitet.

Qualität und Umfang der Daten schwanken jedoch von Kommune zu Kommune, je nachdem, wie viel Aufwand in die Erhebung und Speicherung der Daten fließen kann. So werden beispielsweise Verkehrsschilder und Lichtsignalanlagen in Braunschweig in einer Geodatenbank mit den essentiellen Informationen (Schildtyp, Ausrichtung, usw.) georeferenziert abgelegt, in Stuttgart jedoch liegen die Daten in CAD-Kacheln vor und sind teilweise nur als Grafik eingezeichnet. Oft leiten sich diese Daten aus historischen, analog gepflegten Datensätzen ab und somit ist ein maschinelles Auslesen der essentiellen Informationen nur mittels komplexer Algorithmen möglich.

Die Automobilbranche nutzt inzwischen seit Jahrzehnten Geodaten. Ein Fahrzeug ohne Navigationsgerät ist heute außerhalb der Sportwagendomäne kaum noch vorstellbar. Die großen Kartenhersteller wie TomTom und HERE liefern in klassischen Datenbasen großflächige Knoten-Kanten-Modelle mit für die Navigation hilfreichen Zusatzinformationen (Anzahl der Fahrstreifen und deren Typ) sowie „points of interest“. Hinzu kommen so genannte „high definition maps“, in denen weitere Informationen wie ein Streckenhöhenprofil oder Krümmungsradien für eine

Unterstützung der Fahrweise enthalten sind. Hochgenaue geometrische Informationen sind zurzeit nicht enthalten, es sind beispielsweise gerade einmal Anfang und Ende einer Fahrbahnaufweitung als punktuelle Information hinterlegt. Für Navigationsaufgaben ist diese vereinfachte Form der Modellierung ausreichend, da die ungenaue GNSS-Position einfach auf das Knoten-Kanten-Modell gemached werden kann und spurgenaue Informationen rein informativ angezeigt werden. An der Integration geometrischer Informationen wird jedoch gerade intensiv gearbeitet.

Nicht zu unterschätzen sind allerdings auch so genannte „crowd sourced“ Daten wie beispielsweise OpenStreetMap (OSM). Gerade in Deutschland ist die OSM-Community sehr aktiv und digitalisiert beispielweise Innenstädte sehr detailliert. Dabei werden auch die Informationen über die Straßennetze immer genauer. Informationen über einzelne Fahrbahnen, deren Verknüpfung und Typ sind bereits im Datenmodell hinterlegt, allerdings fehlen auch hier noch genaue geometrische Informationen [RFS16]. Kommerzielle Kartenportale, wie von Google oder Apple betrieben, kaufen die Daten bei Dritten ein.

1.2 genutzte Datenformate

Möchte man nun die Geodaten für Fahrsimulationen nutzen, müssen bei der Datentransformation einige Informations- und Abbildungslücken überbrückt werden [FR12]. Für Fahrsimulationen kommen oft spezielle Datenformate zum Einsatz (beispielsweise OpenDRIVE, IPGRoad oder RoadXML), deren Kern eine mathematische Abbildung des Straßenverlaufs ist, an den relativ verortet alle wesentlichen Elemente und Eigenschaften der Straße modelliert werden. Die Elemente werden dann zusätzlich logisch miteinander verknüpft, um für die Simulation einfach auslesbar zu werden. Die mathematische Modellierung kann dabei sehr präzise oder generisch ausgelegt werden.

Kommunale Geodaten sind im Gegensatz dazu oft historisch gewachsen und basieren häufig auf dem Ansatz, die Informationen rein visuell und flächig in Karten darzustellen. Beispielsweise wird ein Straßenbereich in einem einfachen CAD- oder GIS-Format visuell nur durch die begrenzenden Bordsteinkanten beschrieben, jedoch gibt es keine logische Verknüpfung zur tatsächlichen Fläche oder auch zu Daten über Lichtsignalanlagen. Auch können solche Datensätze in Teilen unsauber und mit verschiedenen Methoden erhoben sein, daher Fehler sowie heterogene Genauigkeit aufweisen. Eine Transformation in die Simulatorformate muss zusätzlich noch die logische Verknüpfung hinzufügen. Eine mathematische Modellierung, wie in der Simulation genutzt, wäre für kommunale Anforderungen oft zu aufwendig und schwieriger zu handhaben.

Die Knoten-Kanten-Modelle der Kartenhersteller oder von OSM basieren logischerweise auf Graphen-Abbildungen. Für das automatische Fahren besteht jedoch einhellige Meinung, dass genauere Daten von Nöten sind, daher entwickeln sich auch die Navigationsdatenbasen weiter. Der Navigation Data Standard (NDS) [NA16]

beispielsweise erweitert das Knoten-Kanten-Modell ab Version 2.5 in den unteren Genauigkeitsebenen um geometrisch modellierte Verläufe von Begrenzungen, die an logische Kanten angehängen werden (so genanntes „Lane Product“). Die Daten werden in einem binären Tabellenformat gespeichert. Zurzeit modelliert NDS allerdings nur den Fahrbahnbereich, eine Abbildung von daran anschließenden Räumen und weiteren Objekten findet nicht statt.

Somit haben die Datenformate für jede Domäne ihre Vorteile, die für die anderen Einsatzgebiete eher nachteilig sind, weil die Daten entweder zu komplex modelliert werden oder wesentliche Informationen wie Zusammenhänge fehlen.

2 Datenerhebung

Wie in der Einleitung bereits geschrieben, ist eine Konvertierung von unterschiedlichen Geodaten in eine Fahrsimulatorumgebung möglich. Wie außerdem kurz angerissen, ist eine mobile Vermessung der Straße eine gute Alternative, um alle notwendigen Daten aus einer Hand zu erhalten. Da jedoch die Vermessung historisch mit der CAD-Domäne eng verbunden ist, ist auch hier die Abbildung der Messrohdaten in Spezialformate wie OpenDRIVE für die Dienstleister nicht trivial. Somit wird auch die Vermessung für Automobilentwickler wieder kostenintensiv und zeitaufwändig. Beauftragen Kommunen eine Vermessung und lassen sich die Daten wieder in einem klassischen CAD-Format liefern, kann die Simulatordomäne weiterhin nur mit Aufwand etwas damit anfangen. Die flächendeckende Erhebung von genaueren Navigationsdatenbasen steht noch am Anfang, selbst Google baut sich für seine autonomen Fahrzeuge die Karten von Hand [Go16].

Damit nicht jede Domäne eine eigene Vermessung starten muss und dadurch unnötige Doppelarbeit entsteht, sollen die Welten amtlicher, kommunaler und kommerzieller CAD- und GIS-Daten mit den Fahrsimulator-Daten zusammengebracht werden. Die Automobilbranche ist auf eine kosteneffiziente Methode zur Erhebung von Geoinformationen angewiesen, für Kommunen eröffnen sich neue Einsatzfelder für ihre Geodaten, wenn diese wesentliche Informationen enthalten würden. Das DLR hat in Zusammenarbeit mit den OEMs Audi, BMW, Daimler, Porsche und Volkswagen das Projekt „Road2Simulation“ gestartet, um eine Methode zur Überbrückung der Kluft zwischen den Domänen und Ihren unterschiedlichen Anforderungen an die Daten zu erarbeiten. Das Ergebnis ist ein Leitfaden [RS16] zur systematischen Erhebung, egal ob dies mit einer mobilen Vermessung oder beispielsweise durch Digitalisieren von Plänen oder hochgenauen Luftbildern passiert. Der Leitfaden ist auch für Dritte frei verfügbar.

2.1 Kernelemente des Leitfadens

Die grundlegende Idee des Leitfadens ist eine vereinfachte Vermessung durch einen externen Dienstleister sowie eine automatisierte Datentransformation durch den

Endanwender. Mit Hilfe eines definierten aber einfachen Zwischenformats soll die Datenkonvertierung ermöglicht werden, da in diesem Format alle wesentlichen Detailinformationen enthalten sind. Das Zwischenformat wurde auf das OpenDRIVE-Format [Du15] für die Straßenverlaufsbeschreibung und auf das OpenCRG-Format [Va15] für die Straßenoberflächenbeschreibung ausgerichtet, da es sich bei beiden Formaten um de-facto Standards in der Fahrsimulation handelt. Hinzu kommt, dass diese Formate frei verfügbar sind. Abb. 1 zeigt die Schlüsselemente des Leitfadens für den Straßenverlauf und deren Verknüpfung untereinander.

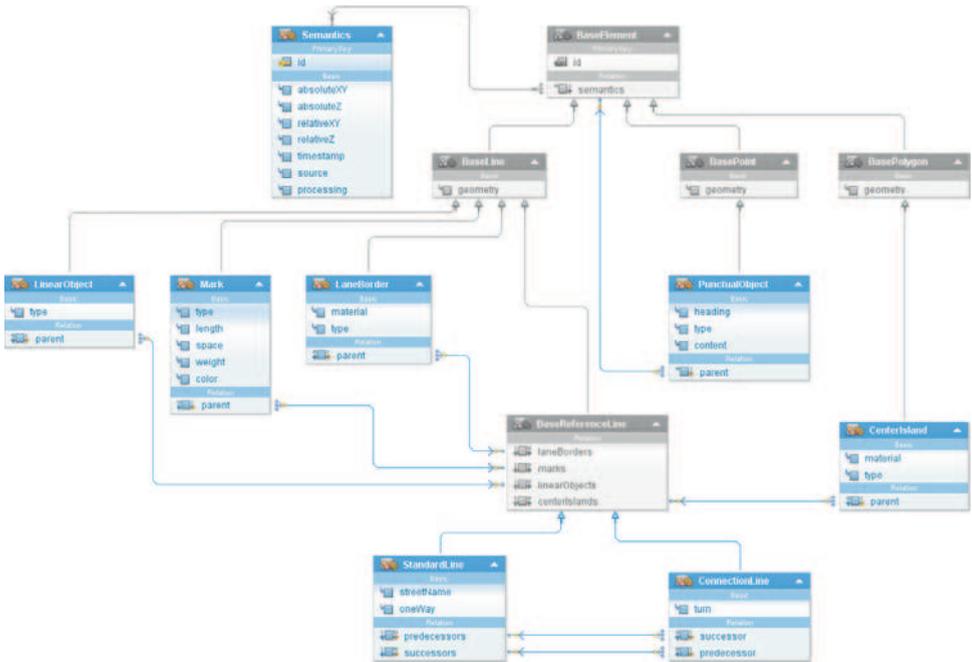


Abb. 1: Auf das wesentliche reduzierte Datenmodell des Leitfadens mit Schlüsselementen (blau) und hierarchischen Elementen (grau).

Basis für den Leitfaden sind so genannte Polylinien mit heterogener Punktdichte der Messpunkte, um den Verlauf der Straße zu modellieren. Für genaue und effiziente Modellierung sollen die Stützstellen eines Linienzugs im Krümmungsbereich möglichst dicht sein, in geraden Abschnitten möglichst groß. Diese unterschiedliche Dichte der Stützstellen der Polylinie ermöglicht sowohl eine hochgenaue Beschreibung als auch eine vereinfachte Darstellung, wenn Stützstellen entsprechend nachträglich interpoliert werden. Auch eine nachträgliche Transformation in eine mathematische Beschreibung kann entweder sehr genau dem Linienzug folgen oder ihn stärker abstrahieren.

Fahrstreifen, Markierungen, Begrenzungen und andere lineare Objekte bilden das Hauptgerüst. Hinzu kommen Punktkoordinaten, die Straßeninfrastrukturelemente wie

Beschilderung, Lichtsignalanlagen, spezielle Straßenmarkierungen und Straßenmöblierung beschreiben. Einige Bestandteile der Straße wie beispielweise Verkehrsinseln sind zurzeit in Simulationsformaten schwer in ihrer Erscheinung zu modellieren. Daher werden sie als flächige Elemente erhoben, um keine Informationen im Zwischenformat zu verlieren. Die Elemente werden mit Attributinformationen versehen. Wichtige Information ist dabei ihre logische Zugehörigkeit zu den anderen Elementen, aber auch Informationen über ihren Typ und ihr Aussehen werden gespeichert. Eine Fahrbahn wird somit durch ihre begrenzende Kante beschrieben, die Informationen zum Typ der Fahrstreifen (beispielsweise Richtungsfahrbahn, Parkstreifen, Grünstreifen oder Gehweg) als auch eine Angabe zum verwendeten Material der Fahrstreifen (beispielsweise Asphalt, Beton oder Kleinpflaster) enthält. Zusätzlich wird auch noch eine Aussage über die Datenqualität verknüpft, die als „Datensemantik“ bezeichnet wird. Die Datensemantik beschreibt Aufnahmezeitpunkt der Information, relativen und absoluten Fehler sowie Methode der Messung (beispielsweise Angabe des Sensors inklusive Firmware-Versionsnummer) und Nachverarbeitung (beispielsweise: roh, gesäubert, verarbeitet oder fusioniert). Somit kann jeder Nutzer im Nachgang selbst entscheiden, ob die Daten seinen Ansprüchen genügen.

2.2 Anwendungsbeispiele und Modellierungshilfen

Ein Leitfaden kann jedoch kein theoretisches Konstrukt bleiben und wird erst dann nutzbar, wenn er durch Beispiele begreifbar wird. Entsprechend wurden für alle wesentlichen Straßensituationen in Deutschland Beispiele zur Umsetzung entworfen. Zu den Situationen gehören, Straßen mit zwei oder mehr Fahrstreifen inklusive Einbahnstraßen, Autobahnen mit baulicher Trennung, komplexe Kreuzungen, Kreisverkehre usw. An diesen Beispielen wird Schritt für Schritt erklärt, wie die Messrohdaten aufbereitet werden sollten und welche Informationen, Details und Besonderheiten erhoben werden müssen.

Die Grundelemente des Leitfadens sind der Straßenverlauf zwischen Kreuzungen, Fahrstreifenverknüpfungen in den Kreuzungen, Fahrstreifenbegrenzungen, Fahrstreifenmarkierungen, lineare und punktuelle Objekte sowie spezielle bauliche Trennungen. Diese wesentlichen Grundelemente müssen teils in bestimmter Art und Weise modelliert werden, um eine automatische Datentransformation unterstützen zu können. Ein Straßenverlauf modelliert immer die Verbindung zwischen zwei Kreuzungen, es werden nie mehrere hintereinander gegangen. Der Verlauf der Straße wird als Linienzug modelliert, der entweder dort, wo die Fahrstreifen in Hin- und Rückrichtung einer Straße aneinander angrenzen, liegt, so lange es keine bauliche Trennung gibt. Gibt es eine Trennung oder handelt es sich um eine Einbahnstraße, muss der Linienzug an die linke Seite der am weitesten links liegenden Fahrstreifen gelegt werden. Abb. 2 zeigt einige Beispiele unterschiedlicher Straßensituationen.



Abb. 2: unterschiedliche Straßensituationen mit modelliertem Straßenverlauf (grün) und Fahrstreifenbegrenzungen (türkis)

Die Fahrstreifenbegrenzung ist das Element, das der Verkehrsfläche seine Erscheinung gibt. In der Regel folgen diese Linienzüge dem Verlauf der Straße, des Bürgersteigs oder auch Fahrstreifenmarkierungen, es besteht aber auch die Möglichkeit, sehr akkurat die Außenkante beispielsweise einer Asphaltfläche zu modellieren, falls dies für bestimmte Anwendungen notwendig ist. Dies kann beispielsweise im Zusammenhang mit Oberflächenvermessungen der Fall sein. In Abb. 2 unten links ist beispielhaft eine Parkplatzausbuchtung zu erkennen.

Kreuzungen mit ihren Abbiegefahrstreifen benötigen besondere Aufmerksamkeit, denn oft sind in der Realität nicht alle für die Simulatorformate notwendigen Informationen Modellierungen vorhanden. Abb. 3 zeigt eine Kreuzung mit allen notwendigen Verbindungen pro Himmelsrichtung. Dort sind beispielsweise Wendemöglichkeiten modelliert, die in der Realität vielleicht nicht zugelassen sind, aber das Aussehen der baulichen Trennung modellieren. Auch müssen für eine saubere Modellierung alle Fahrstreifen möglichst auf einer Höhe enden, durchlaufende Fahrstreifengrenzen müssen dort also unterbrochen werden.



Abb. 3: Kreuzung mit allen Verbindungen (gelb) pro Himmelsrichtung

Komplexe Kreuzungen müssen darüber hinaus möglichst in kleinere Kreuzungen unterteilt werden. Beispielsweise Kreisverkehre sowie Autobahnauf- und -abfahrten (siehe Abb. 2 unten rechts) lassen sich nur auf diese Weise vernünftig modellieren.

Bei den Punktinformationen zur Straßeninfrastruktur zeigt sich schnell, welche komplexe Umgebung abgebildet werden soll. Zur logischen Abbildung sind prinzipiell nur Position und Typ notwendig, für eine vernünftige graphische Modellierung kommen jedoch weitere Informationen über Ausrichtung und Zugehörigkeit hinzu. Abb. 4 zeigt die Fülle an Punktinformationen für nur einen Kreuzungsast.

Um den Aufwand für die Datenerhebung an den Bedarf anpassen zu können, gibt es einen so genannten Standardabbildungsumfang und einen erweiterten Abbildungsumfang. Im Standard werden nur die für die Straßenmodellierung wesentlichen Informationen erhoben, somit ist sozusagen an der Bordsteinkante Schluss, es werden nur Beschilderung und Lichtsignalanlagen berücksichtigt. Nur der erweiterte Abbildungsumfang gibt das vollständige Bild des Verkehrsraums wider und kann je nach Bedarf des Zielsystems modular erweitert oder reduziert werden.



Abb. 4: markierte Punktinformationen (magenta) für Beschilderung, Lichtsignalanlagen und Stadtmöblierung

3 Anwendung und Ausblick

Der Leitfaden wird zudem auch in realer Durchführung getestet. Im Projekt „Road2Simulation“ wurde eine 14 km lange Referenzstrecke in Stuttgart bestehend aus städtischen und Landstraßenabschnitten sowie Tunnel und Autobahn ausgewählt, um die Erhebung nach dem Leitfaden und anschließende Datenkonvertierung zu testen. Die Vermessung startet im zweiten Quartal 2016. Dafür wurde ein Bieterwettbewerb gestartet, in dem sich mögliche Datenlieferanten durch grafische Bearbeitung einer Beispielkreuzung qualifizieren mussten. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Vermessung auch korrekt durchgeführt wird. Die anschließende Konvertierung der entsprechend aufbereiteten Daten wird im dritten Quartal 2016 erwartet. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten und Aufwände deutlich geringer sein werden, als in früheren Beauftragungen, in denen die Spezialformate direkt geliefert werden mussten. Zusätzlich werden die erhobenen Daten nicht nur für die Fahrsimulation genutzt werden können, sondern können zugleich leicht beispielsweise in kommunale Geodateninfrastrukturen integrierbar sind.

Durch die Vermessung wird der Leitfaden nicht nur validiert, sondern basierend auf den Erfahrungen bei der Durchführung auch aktualisiert. Auch zukünftige Versionen des Leitfadens bleiben für Interessenten frei Verfügbar und werden sowohl in der Automobilbranche als auch bei den Kommunen beworben, um dort Anwendung zu finden. Denn ein Loslösen von Spezialanbieter, auch wenn es die großen Kartenhersteller sind, ist eine sinnvolle Lösung, um relevante und notwendige Daten flächendeckend zu erheben und aktuell vorhalten zu können. Dies soll wie anfangs

bereits beschrieben eine Win-Win-Situationen für alle Beteiligten schaffen und den Weg freimachen, dass Dritte Interesse an maschinell auswertbaren, amtlichen Geodaten haben und ggf. selbst welche beisteuern.

Der Leitfaden wird in jedem Fall für entstehende Testfelder und entsprechende Projekte eingesetzt werden, in denen hochgenaue Daten in unterschiedlichen Formaten für den Test von automatischen Fahrfunktionen benötigt werden. Daher wird der Leitfaden um Anforderungen weiterer Formate wie beispielsweise NDS erweitert werden, sobald die Definition für die fahstreifengenaue Modellierung fest stehen. Da die unterschiedlichen Simulator- und Navigationsdatenformate auch langfristig ihre Existenzberechtigung behalten werden, ist eine entsprechende Berücksichtigung im Leitfaden nur folgerichtig. Auch die Erweiterung um Besonderheiten weiterer Länder sind geplante Schritte.

4 Zusammenfassung

Die Notwendigkeit der Nutzung von Realdaten zum Test von Assistenz- und Automationssystemen wächst rasant. Da zurzeit keine sofort nutzbare Datenquelle für Fahrsimulatoranwendungen existiert und die spezifische Erhebung kostenintensiv und zeitaufwändig ist, sollte ein Ansatz entwickelt werden, der die Komplexität reduziert und einfache Datenkonvertierung ermöglicht, da es eine entsprechende allgemein zugängliche Methode bis jetzt nicht gab. Das DLR entwickelte in Zusammenarbeit mit OEMs einen Leitfaden, deren Kernelement ein einfaches Geodatenzwischenformat alle wesentlichen Detailinformationen beinhaltet, die für die Datenkonvertierung notwendig sind. Der frei verfügbare Leitfaden enthält neben dem Modell viele Modellierungsbeispiele und Umsetzungsvorschläge zur einfachen Adaption. Er wird mit einer prototypischen Vermessung und Datenkonvertierung getestet und danach gegebenenfalls angepasst. Somit steht nun eine allgemein zugängliche Methode zur effizienten Erhebung von Straßengeodaten für Geoinformationssysteme und Fahrsimulation.

Literaturverzeichnis

- [Du15] Dupuis, M.; et.al.: OpenDRIVE® Format Specification, Rev. 1.4 Issue H, <http://opendrive.org/docs/OpenDRIVEFormatSpecRev1.4H.pdf>, Stand 15.06.2016
- [FR12] Friedl, H.; Richter, A.: Fusion heterogener Geodaten zur Erstellung realer 3D-Welten am Beispiel einer Fahrsimulation. GEOINFORMATIK 2012, 28-30.03.2012, Braunschweig, ISBN 978-3-8440-0888-3. ISSN 1618-1034
- [Go16] Google Self-Driving Car Project. Monthly Report March 2016, <https://static.googleusercontent.com/selfdrivingcar/files/reports/report-0316.pdf>, Stand 15.06.2016

- [NA16] NDS Association: On the way – NDS success stories from 2014, http://www.nds-association.org/wp-content/uploads/NDS_Flyer-Success-stories_2014.pdf, Stand 15.06.2016
- [RFS16] Richter, A.; Friedl, H.; Scholz, M.: Beyond OSM – Alternative Data Sources and Approaches Enhancing Generation of Road Networks for Traffic and Driving Simulations. SUMO2016 – Traffic, Mobility, and Logistics. 23-25.05.2016, Berlin
- [Ri16] Richter, A.; et.al.: Challenges and Experiences in Using Heterogeneous, Geo-Referenced Data for Automatic Creation of Driving Simulator Environments. In: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International, Special Issue Driving Simulation, 2016, vorveröffentlicht 08.04.2016, DOI: 10.1177/0037549716641201
- [RS16] Richter, A.; Scholz, M.: Road2Simulation Guidelines – Leitfaden zur Erhebung von Straßendaten für Simulation und Entwicklung, http://www.dlr.de/ts/Portaldata/16/Resources/projekte/road2simulation/Road2Simulation_Guideline.pdf, Stand 15.06.2016, Braunschweig, Germany
- [Va15] various: OpenCRG® User Manual, Issue M, <http://www.vires.com/opencrg/docs/OpenCRGUserManual.pdf>, Stand 15.06.2016