

# Einsatz und Nutzen von aus GNSS-Trajektorien abgeleiteten hochgenauen Straßenkarten im Kontext (hoch-)automatisierten Fahrens

Gernot Pucher<sup>1</sup>, Martin Rudigier<sup>2</sup>, Robert Neuhold<sup>3</sup>, Michael Haberl<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TraffiCon – Traffic Consultants GmbH, Salzburg · pucher@trafficon.eu

<sup>2</sup>ViF – Das virtuelle Fahrzeug, Forschungsgesellschaft mbH

<sup>3</sup>TU Graz, Institut für Straßen- und Verkehrswesen

**Zusammenfassung:** Digitale Straßenkarten werden aktuell in einem weiten Feld von positionssensitiven Anwendungen eingesetzt. Gängige digitale Straßenkarten sind jedoch in geometrischer und topologischer Hinsicht stark generalisiert dargestellt. Gerade auch im Kontext des (hoch-)automatisierten Fahrens werden hochauflösendere Geodatengrundlagen von großer Bedeutung sein, da hochgenaue a priori Information über den Verlauf und Zustand des Straßennetzes benötigt wird. Im Projekt „LaneS“ wurde eine kostengünstige Methode entwickelt, um fahrstreifenfeine Straßengraphen aus GNSS-Trajektorien abzuleiten. Um Einsatz, Nutzen und Anforderungen derartiger Kartengrundlagen zu evaluieren wurden Experteninterviews durchgeführt. Es zeigt sich, dass hohes Potenzial vor allem in Anwendungsfeldern im Verkehrsmanagement, Forschung, für Infrastrukturbetreiber und Serviceanbieter im Kontext (hoch-)automatisiertes Fahren identifiziert werden kann.

**Schlüsselwörter:** Automatisiertes Fahren, GNSS-Daten, hochgenaue Straßenkarten

**Abstract:** *Digital street maps are currently used in a wide field of location-aware applications. However, common road network graphs are generalized concerning road geometries and network topology. Especially in the context of (highly-) automated driving, more precise maps are in demand, as exact a priori information on the course and condition of a road is required. In the research project “LaneS”, a method was developed to derive lane specific road network graphs from GNSS-trajectories. In order to evaluate the application and requirements of such highly precise road network graphs, expert interviews were conducted. It was shown that in particular traffic management, research, infrastructure operators and service providers operating in the context of (highly-) automated driving have high demand of precise but affordable road network graphs.*

**Keywords:** *Automated driving, GNSS-data, precise street maps*

## 1 Einführung

Digitale Straßengraphen werden aktuell in einem weiten Feld von positionssensitiven Anwendungen eingesetzt, beispielsweise in der Fahrzeugnavigation, in Verkehrsinformationssystemen oder in der Web-Kartographie (CARISI et al. 2011). Gängige digitale Straßengraphen sind jedoch in geometrischer und topologischer Hinsicht stark generalisiert dargestellt. So wird eine Straße in der Regel durch eine einzige geographische Entität repräsentiert, unabhängig von Fahrstreifenanzahl und Fahrtrichtung (GULGEN et al. 2008).

Zahlreiche Anwendungen und Services im Bereich intelligenter Verkehrssysteme (IVS) erfordern jedoch hochauflösendere Geodatengrundlagen. Gerade auch im Kontext des (hoch-)automatisierten Fahrens werden digitale Straßengraphen zukünftig von großer Bedeutung sein, da sie a priori Information über den Verlauf und Zustand des Straßennetzes beinhalten. Dadurch wird die Steuerungseinheit des Fahrzeugs bei der Ausrichtung seiner Position auf

der Straße unterstützt und kann bereits vor der Erfassung der Umgebung durch fahrzeuigeigene Sensorik entsprechende Fahrhinweise initiieren. Als Kartengrundlage für (hoch-)automatisiertes Fahren werden jedoch Straßengraphen benötigt, die unter anderem jeden einzelnen Fahrstreifen mit dessen exakt verorteten Mittelachsen mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern abbilden, sowie deren topologische Assoziationen, Fahrstreifenbreiten oder assoziierte Infrastrukturelemente beinhalten (CZERWIONKA et al. 2011).

Traditionelle Kartenanbieter haben den Bedarf nach derartigen hochgenauen Straßengraphen für (hoch-)automatisiertes Fahren erkannt und führen aktuell umfassende Messkampagnen durch. Dabei werden hochpräzise und teure Lokalisierungstechnologien eingesetzt, um die Positionen von Fahrstreifenmittelachsen und von Infrastrukturelementen zu erfassen. Nutzer-generierte GNSS-Daten werden komplementierend zur Graphenerzeugung herangezogen (NIKOWITZ 2015). Die Durchführung derartiger, flächendeckender Messkampagnen ist mit hohem Kosten- und Zeitaufwand verbunden, weshalb bereits in einer frühen Entwicklungsphase strategische Allianzen und Verträge mit Vertretern der Automobilindustrie verhandelt wurden.

Welche weiteren potenziellen Nutzergruppen darüber hinaus Zugang zu derartigen hochauflösenden Straßengraphen haben werden und zu welchem Preis, ist hingegen nach aktuellem Stand weitestgehend offen. Es ist jedoch zu erwarten, dass die durch kostenintensive Messkampagnen entwickelten hochgenauen Straßengraphen aufgrund der hohen Aufwände und vertraglicher Vereinbarungen in absehbarer Zeit nicht für Interessenten außerhalb der Kernzielgruppe der Automobilindustrie verfügbar sein werden. Dadurch stehen beispielsweise dem Verkehrsmanagement keine Geodatengrundlagen zur Verfügung, die zur exakten, fahrstreifen-genauen Referenzierung von Verkehrsmeldungen genutzt werden könnten, wie sie für Anwendungen im Bereich (hoch-)automatisiertes Fahren jedoch notwendig sind (YOKOYAMA 2015). Somit existiert aktuell keine Möglichkeit, um fahrstreifen-genaue Verkehrsmeldungen auf der Grundlage von standardisierten dynamischen Referenzierungsverfahren (bspw. OpenLR) auf das hochgenaue Kartenmaterial zu verorten, welches von der Automobilindustrie als Datengrundlage für (hoch-)automatisiertes Fahren eingesetzt wird.

Auch für die Kommunikation zwischen Infrastrukturelementen und Fahrzeugen (Car2x) fehlen digitale fahrstreifenfeine Straßentopologien, auf die Meldungen bzw. Fahrzeuge im Einflussbereich von straßenbezogenen Infrastruktureinheiten (Road Side Units, RSU) nach standardisierten Verfahren hochgenau referenziert werden können. Die Verfügbarkeit fahrstreifenfeiner Straßengraphen, die insbesondere auch in komplexen Verkehrsführungen, wie etwa innerstädtischen Kreuzungsbereichen, die Topologie des Straßenverlaufs exakt abbilden, kann dazu beitragen die Anwendbarkeit von Car2x-Technologien im Kontext von (hoch-)automatisierten Fahren zu verbessern (DIEDRICHS et al. 2014).

## 2 Zielsetzung

Damit auch weiteren Nutzergruppen, die im Kontext (hoch-)automatisiertes Fahren partizipieren, wie etwa Planungsbehörden, Forschung oder Service-Provider, Geodatengrundlagen mit erforderlicher Auflösung zur Verfügung stehen, wird ein kostengünstiges Verfahren benötigt, welches fahrstreifenfeine Straßengraphen flächendeckend und mit vergleichbarer Genauigkeit auf der Grundlage von bereits zur Verfügung stehenden Eingangsdaten automatisiert erzeugt. Ein erster Ansatz zur Entwicklung einer entsprechenden Methodik, um einen

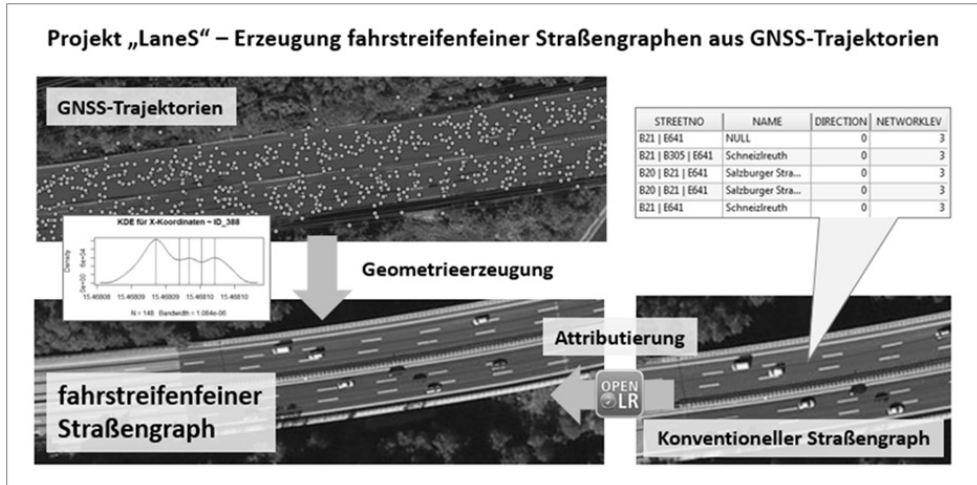
fahrstreifenfeinen Straßengraphen mit hoher Genauigkeit automatisiert aus Fahrzeugtrajektorien, die mit handelsüblichen GNSS-Receiver aufgezeichnet wurden, abzuleiten, wurde bereits im Forschungsprojekt ‚LaneS‘ hervorgebracht (Abb. 1). Die Trajektorien wurden in umfassenden Messkampagnen unter Verwendung unterschiedlicher Messgeräte für Streckenabschnitte einer Autobahn, einer Schnellstraße und einer innerstädtischen Straße in der Stadt Graz und dessen Umland zwischen Mai und Oktober 2015 aufgezeichnet. Das Projektkonsortium wird aus den Forschungspartnern TraffiCon – Traffic Consultants GmbH aus Salzburg, dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Graz, dem Kompetenzzentrum virtuelles Fahrzeug (ViF) aus Graz und pwp-Systems aus Bad Camberg sowie dem Anwendungspartner Siemens AG in Graz gebildet.

### 3 Methodik

Um die genaue Position von Fahrstreifenmittelachsen aus einer Grundgesamtheit von Fahrzeugtrajektorien bestimmen zu können, wird die allgemeine Annahme getroffen, dass FahrerInnen tendenziell bestrebt sind ihr Fahrzeug entlang der Mitte eines Fahrstreifens zu navigieren. Daraus folgt, dass die Position eines Fahrzeugs mit größerer Wahrscheinlichkeit nahe der Fahrstreifenmittelachse zu finden ist als am Rand eines Fahrstreifens. Somit kann die Lage einer Fahrstreifenmittelachse über die Maxima einer Dichteverteilung von Fahrzeugtrajektorien bestimmt werden.

Über die Dichtefunktion, der Kernel Density Estimation (KDE), werden aus der Gesamtheit der Fahrzeugtrajektorien die Dichtemaxima an Straßenquerschnitten im Abstand von 5 m geschätzt. Da für die Datenaufnahme handelsübliche GNSS Receiver eingesetzt wurden, ergibt sich aufgrund von Positionierungsungenauigkeiten jedoch eine durchschnittliche laterale Abweichung zwischen 1 und 2.5 Metern gegenüber der eigentlichen Fahrzeugposition. Dadurch werden Dichtemaxima erkannt, die keine tatsächlichen Fahrstreifenmittelachsen repräsentieren. Um diese fehlerhaften Maxima auszuschließen, wird daher eine Distanzmatrix eingeführt, welche ausgehend von in der Straßenverkehrsordnung festgeschriebenen Fahrstreifengrundbreiten die Abstände aller gefundenen Dichtemaxima evaluiert und hinsichtlich Plausibilität prüft. Dadurch werden jene Konstellationen von Dichtemaxima ausgeschlossen, die unplausible Abstandsverhältnisse aufweisen. Die dadurch geschätzte Anzahl identifizierter, plausibler Maxima entspricht der Fahrstreifenanzahl und deren Position lateral zur Straßenführung den jeweiligen Fahrstreifenmittelachsen. Aus diesen Positionen wird eine fahrstreifenfeine Netztopologie erzeugt. Durch die Anwendung des offenen Referenzierungsstandards OpenLR (TOMTOM 2012) werden zudem Attribute aus anderen Straßengraphen auf die einzelnen Fahrstreifengeometrien gematcht.

Das entwickelte Verfahren erzielt bereits sehr gute Resultate in der Bestimmung von Fahrstreifenmittelachsen, solange keine ausgeprägte räumliche Häufung fehlerhafter Positionsbestimmungen in den Eingangsdaten vorliegt. Es hat sich gezeigt, dass die Abweichungen der geschätzten Fahrstreifenmittelachsen bei Straßenquerschnitten mit der korrekt identifizierten Fahrstreifenanzahl zu Referenzpositionen aus hochgenauen DGPS Befahrungen durchschnittlich bei 0.135 m liegen.



**Abb. 1:** Erzeugung fahrstreifenfeiner Straßengraphen aus GNSS-Trajektorien im Forschungsprojekt „LaneS“. Hintergrundkarte: Bing Aerial Imagery.

Um Einsatz, Nutzen und Anforderungen derartiger, auf der Grundlage von GNSS-Trajektorien, abgeleiteten fahrstreifenfeinen Straßengraphen, wurden im Forschungsprojekt „LaneS“ Experteninterviews mittels eines standardisierten Fragebogens durchgeführt. Dieser beinhaltete 24 Fragestellungen mit offenen Antwortmöglichkeiten, die in die Themenblöcke „Evaluierung Ist-Stand“, „Fahrstreifenfeiner Straßengraph und seine Anwendung“, „Kommerzielle Fragen“, „Dynamische Graphen“ und „Car2x-spezifische Fragen“ unterteilt wurden. Insgesamt wurden 17 ExpertInnen aus den Bereichen Verkehrsmanagement, ITS-Serviceanbieter, Infrastrukturbetreiber und Automobilindustrie befragt.

## 4 Ergebnisse

Tabelle 1 gibt die aus den Interviews resultierenden Anwendungsbereiche wieder, für die ein hochgenauer, fahrstreifenfeiner Straßengraph als wichtige Datengrundlage genutzt werden kann.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass Anwendungspotenziale von fahrstreifenfeinen Straßengraphen in verschiedenen Bereichen des (hoch-)automatisierten Fahrens identifiziert werden können. Diese sind nicht auf die Bereitstellung einer hochgenauen Lokalisierungs- und Navigationsgrundlage für (hoch-)automatisierte Fahrzeuge beschränkt, was die Anforderung nach der Verfügbarkeit derartiger Geodatengrundlagen für unterschiedliche Akteure im Kontext des (hoch-)automatisierten Fahrens bestätigt.

**Tabelle 1:** Identifizierte Anwendungspotenziale fahrstreifenfeiner Straßengraphen im Kontext (hoch-)automatisierten Fahrens

| Anwendungspotenziale fahrstreifenfeiner Straßengraphen im Kontext (hoch-)automatisierten Fahrens  | Car2x/<br>Car2Car | Verkehrsmanagement | Fahrerassistenz |
|---|-------------------|--------------------|-----------------|
| Spurhalte-/Wechsellassistent (Verbesserte Spurzuordnung von Fahrzeugen und Kenntnis der Lage der Fahrspuren)  |                   |                    | ×               |
| Kollisionswarnsystem (hochgenaue Positionsbestimmung durch Datenfusion des Graphen mit Sensordaten)   |                   |                    | ×               |
| Kreuzungsassistent (fahrstreifenfeine Navigation, Verborgenes über C2X-Kommunikation sichtbar machen ...)   | ×                 |                    | ×               |
| Vorausschauende Fahrweise (fahrstreifenfeine Navigation, Spurzuordnung von Fahrzeug und Umgebungsverkehr)   | ×                 |                    | ×               |
| Fahrstreifenfeine Referenzierung und Übertragung von Verkehrssysteminformationen (Busspur, Radfahrerstreifen, Lkw-Verbote)  |                   | ×                  | ×               |
| Adaptive Cruise Control, kooperatives Fahren (zur besseren Motiverkennung des Vorderfahrzeuges, fahrstreifenfeine Geschwindigkeitsinformationen zur Geschwindigkeitswahl) | ×                 |                    | ×               |
| Warnungen über vorausliegende Ereignisse bzw. Gefahren (Unfälle, Stauende, Sondereinsätze; hochgenaue Positionsbestimmung, Spurzuordnung von Fahrzeugen, C2X-basierend)   | ×                 | ×                  |                 |
| Baustelleninformation und Leitung (Spurgenaue Information über Baustellen, fahrstreifenfeine Navigation)  | ×                 | ×                  |                 |
| Warnung vor Übertretungen (Geschwindigkeit, Spurwechselverbot)  |                   |                    | ×               |
| Erweiterte Lichtsignalinformation (Grünbandanpassung ...)   | ×                 | ×                  |                 |
| Dynamische Straßenkarten durch datengetriebene Anpassungen des Straßenverlaufs  | ×                 | ×                  | ×               |

Aus den durchgeführten Experteninterviews ergaben sich zudem auch anwendungsspezifische Anforderungen hinsichtlich attributiver Ausprägung und Genauigkeit fahrstreifenfeiner Straßengraphen. Bei der Referenzierung von Verkehrsmeldungen und Fahrzeugen auf einzelne Fahrstreifen eines digitalen Straßengraphen wird in der Regel von einer notwendigen Positionsgenauigkeit von 0,5 m ausgegangen. Durch die in „LaneS“ entwickelte Methodik kann die Fahrstreifenposition aus einem Satz von GNSS-Trajektorien mit moderatem Fehleranteil mit einer Medianabweichung von etwa 0,2 m der tatsächlichen Fahrstreifenposition bestimmt werden. Für diese Anwendungsfälle, die vor allem für das Verkehrsmanagement sowie für Car2x und Car2Car-Technologien relevant sind, können daher bei entsprechendem methodischem Vorgehen Geodatengrundlagen aus regulären GNSS-Trajektorien erzeugt werden.

Für die eigentlichen Steuerungseinheiten (hoch-)automatisierter Fahrzeuge werden jedoch noch höhere Anforderungen bzgl. Genauigkeit und attributiver Ausprägung an Straßengraphen gestellt, da hierfür unter anderem auch straßenbezogene und –nahe Infrastrukturelemente, wie Position und Art von Straßenschildern oder Lichtsignalanlagen, Kurvenradien des Straßenverlaufs oder Oberflächenbeschaffenheit hinterlegt sein sollten. Diese Attribute können nicht oder nur unzuverlässig über datengetriebene Analysen von GNSS-Trajektorien aus handelsüblichen Receivern abgeleitet werden. Hierfür werden weiterführende Daten, etwa aus der Fahrzeugsensorik oder über den Einsatz hochpräziser Messinstrumente (bspw. LIDAR), benötigt. Aus der Auswertung der durchgeführten Experteninterviews wird daher geschlossen, dass die datengetriebene Ableitung fahrstreifenfeiner Straßengraphen aus GNSS-Trajektorien eine kostengünstige Möglichkeit darstellt, Geodatengrundlagen vor allem für die Anwendergruppen Verkehrsmanagement, Forschung, Infrastrukturbetreiber oder Serviceanbieter, zur Verfügung zu stellen, die zur fahrstreifenfeinen Referenzierung von Verkehrsinformationen und Services genutzt werden können. Dies kann eine Grundlage für das Matching auf hochgenaue Kartengrundlagen bieten, die für die Navigation und Lokalisierung (hoch-)automatisierter Fahrzeuge genutzt werden.

## Acknowledgements

Die zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen des Förderprogrammes „Mobilität der Zukunft“ von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), gefördert.

## Literatur

- CARISI, R., GIORDANO, E., PAU, G. & GERLA, M. (2011), Enhancing in Vehicle Digital Maps via GPS Crowdsourcing. Conference Proceedings Eighth International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services, Bardonecchia, Italien. 27-34. doi: 10.1109/WONS.2011.5720196.
- CZERWIONKA, P. & WANG, M. (2011), Optimized Route Network Graph as Map Reference for Autonomous Cars Operating on German Autobahn. Conference Proceedings 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA), Wellington, New Zealand, 78-83. doi 10.1109/ICARA.2011.6144860.
- DIEDERICHS, F. & PÖHLER, G. (2014), Driving Maneuver Prediction Based on Driver Behavior Observation. In: STANTON, N., LANDRY, S., DI BUCCHIANICO, G. & VALLICELLI, A. (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Part II*. AHFE Conference, Krakow, Poland.
- GULGEN, F. & GOKGOZ, T. (2008), Selection of roads for cartographic generalization. Conference Proceedings, XXI ISPRS Congress 2008, Beijing, China, 615-620.
- NIKOWITZ, M. (2015), Fully Autonomous vehicles. Visions of the future or still reality? Epuli GmbH, Berlin.
- TOMTOM INTERNATIONAL B. V. (2012), OpenLR White Paper Version 1.5 Revision 2. An open standard for encoding, transmitting, and decoding location references in digital maps. White Paper, Amsterdam, Netherlands.
- YOKOYAMA, T. (2015), Automated driving that opens up the future. In: *Honda Sustainability Report 2015*.