

# UHD Mapping von Teststrecken für automatisiertes Fahren

**RICHARD LADSTÄDTER<sup>1</sup>, PATRICK LULEY<sup>1</sup>, STEFAN LADSTÄTTER<sup>1</sup> & HEINZ MAYER<sup>1</sup>**

*Zusammenfassung: Für die Validierung automatisierter Fahrfunktionen auf öffentlichen Straßen (Real-Test), in der Simulation als auch am Prüfstand werden hochgenaue, richtige, vollständige und hochauflösende Referenzkarten der Verkehrsinfrastruktur, sogenannte „Ultra High Definition Karten“ (UHDmaps) benötigt. In diesen Karten sollen relevante Objekte wie Verkehrszeichen, Fahrbahnmarkierungen, Betonleitwände etc., aber auch die Fahrbahn selbst als sogenannte „Ground-Truth“ repräsentiert sein. JOANNEUM RESEARCH betreibt am Standort in Graz ein Mobile Mapping System, mit dessen Hilfe für die Österreichische Testregion für automatisiertes Fahren (ALP.Lab) im Zeitraum Juli-November 2018 über 400km Autobahnen und Schnellstraßen aufgenommen wurden. In diesem Beitrag werden sowohl die Aufnahme der Teststrecken als auch die weitere Verarbeitung der Daten bis zur hochgenauen Karte beschrieben. Anhand einiger Beispiele soll der hohe Informationsgehalt einer solchen Karte gezeigt werden. Als Ausblick wird skizziert mit welchen Methoden die UHDmaps im Sinne automatischer Kartenupdates aktuell gehalten werden sollen.*

## 1 Einleitung

### 1.1 Forschungslabor für Hochautomatisiertes Fahren

JOANNEUM RESEARCH betreibt am Institut DIGITAL seit einigen Jahren Forschung zum Thema hochautomatisiertes Fahren (HAF), und hat für diesen Schwerpunkt 2017 begonnen ein eigenes Forschungslabor aufzubauen. Durch eine Förderung aus dem Zukunftsfonds des Landes Steiermark konnte ein Mobile Mapping System der neuesten Generation als zentraler Bestandteil des Labors angekauft werden. Dieses ermöglicht die Erfassung hochgenauer 3D-Daten der Straßeninfrastruktur als Grundlage zur Validierung von HAF-Sensorik bzw. darauf aufbauender Algorithmen.

### 1.2 ALP.Lab

Die ALP.Lab GmbH (Austrian Light Vehicle Proving Region for Automated Driving) baut in der Steiermark die notwendige Infrastruktur für das Testen von automatisierten Fahrzeugen auf öffentlichen und privaten Straßen als auch in der Simulation und auf Prüfständen. Der Aufbau der Testregion wird im Rahmen des Programms Mobilität der Zukunft der FFG gefördert. Als wissenschaftlicher Partner beschäftigt sich die JOANNEUM RESEARCH innerhalb von ALP.Lab mit der Aufgabenstellung hochgenaue Karten von öffentlichen oder privaten Teststrecken zu erstellen. Die Karten werden zunächst für das öffentliche Streckennetz auf definierten Abschnitten der Autobahnen A2/A9 in der Steiermark erstellt. Kunden der ALP.Lab, wie beispielsweise Hersteller von hochautomatisierten Fahrzeugen, können zur Validierung von Fahrfunktionen auf öffentlichen Straßen auf die Referenzkarten (UHDmaps) selbst oder auch auf Validierungs-Cloud-Services der ALP.Lab zurückgreifen. Während die Referenzkarte eine Validierung der Umfeldwahrnehmung

---

<sup>1</sup> Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut DIGITAL, Steyrergasse 17, A-8010 Graz, E-Mail: [richard.ladstaedter, patrick.luley, stefan.ladstaetter]@joanneum.at

von Fahrzeugen hinsichtlich der statischen Objekte ermöglicht, wird bei der Validierung von dynamischen Objekten - wie andere Verkehrsteilnehmern - auf Referenzdaten der digitalen Infrastruktur (Sensoren entlang der Fahrbahn) als auch auf ein dachmontiertes Referenz-Sensor-System zurückgegriffen.

### 1.3 UHD Karten zur Validierung automatisierter Fahrfunktionen

Da die hohen Anforderungen an Genauigkeit, Detailreichtum und Aktualität von verfügbaren Karten bzw. Vermessungsgrundlagen nicht abgedeckt werden konnte wurde das gesamte ALP.Lab Streckennetz mittels Mobile Mapping im Zeitraum Juli-November 2018 neu aufgenommen. In Anlehnung an den Begriff „HDmaps“ (High Definition Navigationskarten der neuersten Generation, die autonomes Fahren unterstützen sollen) ist daher der Begriff „UHDmaps“ gerechtfertigt, da hier Absolutgenauigkeiten im niedrigen Zentimeterbereich, höchster Detailierungsgrad durch den eingesetzten Dual-Scanner und hochaktuelles Kartenmaterial angestrebt werden. Während HDmaps von kommerziellen Anbietern in einem globalen Maßstab für den automatisierten Fahrbetrieb selbst erstellt werden, erfüllen UHDmaps die hohen Anforderungen aus Test, Entwicklung und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen auf einem regionalen Maßstab für Testregionen.

Die in der Karte benötigten Objekte und deren Erfassung bzw. Attributierung wurden in Zusammenarbeit mit dem ALP.Lab Konsortium festgelegt und lehnen sich stark an den von der DLR entwickelten Leitfaden „Road2Simulation“ (RICHTER & SCHOLZ 2018) an. Aufbauend auf diesem Leitfaden wurde von der JOANNEUM RESEARCH eine eigene Digitalisierungsrichtlinie ausgearbeitet, die zunächst die manuelle bzw. semi-automatische Auswertung der erhobenen Mobile Mapping Daten beschreibt. Aufgrund des hohen Personalaufwands für die manuelle bzw. semi-automatische Kartenerstellung müssen große Teile der Karte (und alle weiteren Aktualisierungen) möglichst vollautomatisiert erstellt werden. Der manuell erstellte Teil der Referenzkarte kann dabei zur Evaluierung der Qualität der eingesetzten automatisierten Auswerteverfahren herangezogen werden.

### 1.4 Das ALP.Lab Streckennetz

Der Kernbereich der Teststrecken (Abschnitt 1) bildet die Autobahn A2 von km170 (Laßnitzhöhe) bis km186 (Knoten Graz West), siehe Abbildung 1. In diesem Bereich wurden zusätzlich insgesamt fünf Passpunktnester mit 40x40cm großen Zieltafeln errichtet. Weiters enthält der ebene, durchgehend dreispurige Abschnitt zwischen Graz Ost (A2 km179) und Graz West zahlreiche stationäre Verkehrssensoren auf Überkopfbrücken, die zur Beobachtung der Verkehrssituation bzw. autonomer Testfahrzeuge eingesetzt werden können. Nach einer Generalsanierung wurde der letztgenannte Abschnitt übrigens erst im Oktober 2018 wieder frei befahrbar.

Neben den beiden Richtungsfahrbahnen Wien bzw. Klagenfurt wurden auch die zahlreichen Rampen der beiden Autobahnknoten Graz Ost bzw. West mitaufgenommen, um Auf- und Abfahrtszenarien ebenfalls abbilden zu können. Beim Knoten Graz Ost wurde zusätzlich der Zubringer A22 bis zur Abfahrt Raaba ergänzt, damit ist ein direkter Anschluss an das Magna Firmengelände vorhanden. Der Abschnitt 1 wird auf der A2 Richtung Westen durch einen zweiten Abschnitt bis Steinberg ergänzt. Dieser enthält einen kurvigen Abschnitt mit starker Steigung (ab Mooskirchen) und

einen kurzen Tunnel (300m). Die beiden Abschnitte 1 & 2 ergeben zusammen eine Länge von 76km (für beide Richtungsfahrbahnen).

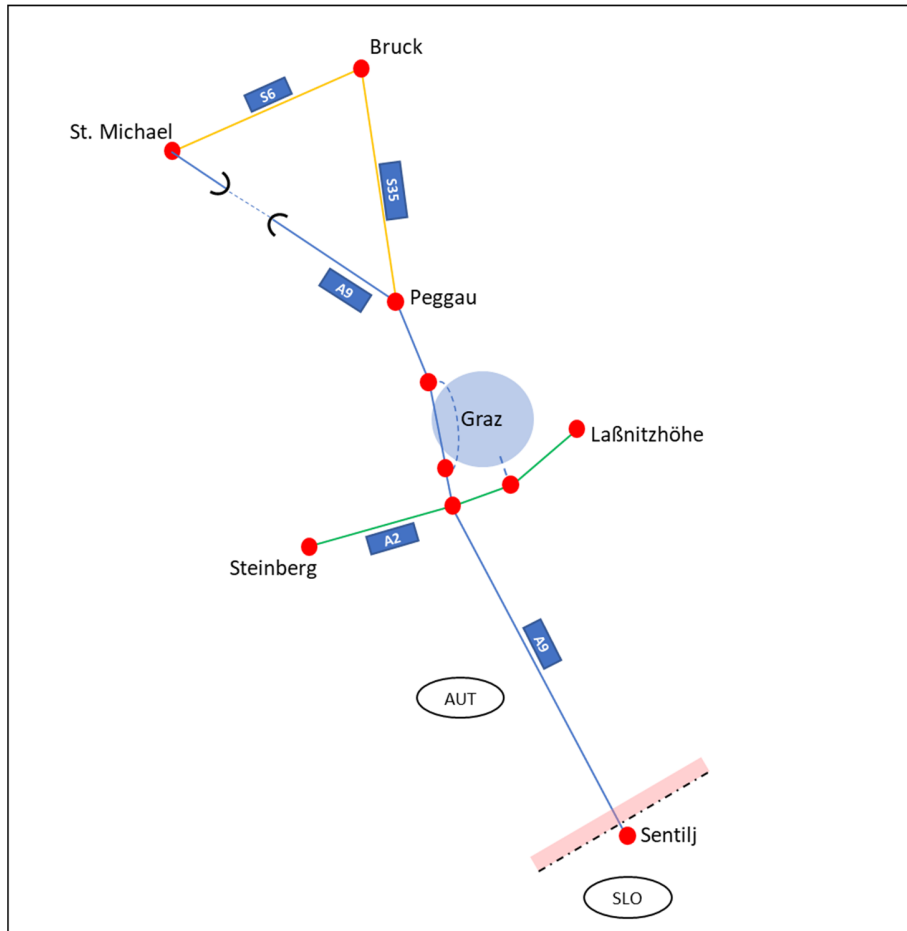


Abb. 1: Übersicht über die im Projekt ALP.Lab aufgenommenen Streckenabschnitte

Als dritter Abschnitt wurde die A9 vom Knoten Graz West bis zum Knoten St. Michael definiert. Dieser Abschnitt enthält neben zwei langen doppelröhriigen Autobahntunneln (Plabutschunnel, 10km und Gleinalmtunnel, 8km) und drei kürzeren Tunnel auch die Mautstation Gleinalm. Auch dieser Abschnitt weist starke Steigungen/Gefälle und kurvige Abschnitte auf. Ab dem Gleinalmtunnel Nordportal ist zudem öfters mit äußerst winterlichen Bedingungen zu rechnen.

Der vierte Abschnitt des ALP.Lab Streckennetzes schließt beim Knoten Graz West an und führt auf der A9 bis zur österreichischen Staatsgrenze bei Spielfeld und noch ca. 500m weiter bis Sentilj auf der slowenischen Seite. Damit enthält dieser Abschnitt einen Grenzübertritt, was wieder ein eigenes Testszenario darstellt. Dieser 40km lange, sehr flache Autobahnabschnitt ist im Spätherbst sehr anfällig für Bodennebel, was ebenfalls ein wichtiges Testszenario ergibt.

Der fünfte Abschnitt wird durch die Schnellstraßen S35 und S6 von Peggau über Bruck bis St. Michael gebildet, wodurch sich zusammen mit dem Gleinalmabschnitt auf der A9 eine nördliche

„Testschleife“ ergibt. Die Schnellstraßen haben einen durchgehend sehr kurvigen Verlauf und weisen teilweise sehr enge Kurvenradien auf. Zusätzlich befinden sich in diesem Abschnitt sieben kurze bzw. mittellange Tunnel (bis 4km Länge).

Als sechster Abschnitt wurde schließlich ein ca. 10km langer Nord-Süd Transit durch das Grazer Stadtgebiet definiert (A9/Abfahrt Graz Nord bis Verteilerkreis Webling) der das Streckennetz somit um ein Stadtszenario ergänzt. Insgesamt weist das ALP.Lab Streckennetz somit ca. 425km Länge auf und liegt zwischen 300 und 800 m.ü.A. (Spielfeld bzw. Gleinalm). Das Streckennetz liegt in einem Umkreis von nur 45km zur Landeshauptstadt Graz und hält dennoch wie beschrieben zahlreiche unterschiedliche Testszenarien bereit.

### 1.5 Definition des Koordinatensystems für ALP.Lab

Für die UHD-Karten der ALP.Lab Teststrecken wird eine Absolutgenauigkeit im niedrigen Zentimeterbereich gefordert. Damit eine derart hohe Genauigkeit bei der Punktbestimmung in 3D überhaupt erreicht werden kann benötigt man ein entsprechend gut definiertes bzw. realisiertes Referenzkoordinatensystem. Eine gute Übersicht über die verfügbaren Koordinatensysteme in Österreich gibt das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (OTTER et al. 2015).

Nur das System ETRS89 / ETRF2000 / Austria 2002 erfüllt alle gestellten Anforderungen:

- Definitionsgenauigkeit +/- 5mm in der Lage, +/-1cm in der Höhe
- International anerkannte Realisierung des europäischen Referenzsystems ETRS89
- Homogene Genauigkeit daher auch grenzübergreifend gegeben

Die Realisierung erfolgt durch das Netz an APOS-Referenzstationen, in das auch die Station Graz-Lustbühel und Stationen im benachbarten Ausland (Maribor, Zalaegerszeg) eingebunden sind. APOS bietet auch einen Echtzeit-Korrekturdienst (RTK) an, mit dem ebenfalls cm-Genauigkeit direkt im System ETRS89 erreicht werden kann (z.B. für die Positionierung von Fahrzeugen während einer Testfahrt).

Für die Verebnung in der UHD-Karte wurde das internationale System UTM gewählt, im speziellen UTM33 / ETRS89 (EPSG:25833) für die Steiermark (Ostösterreich). Für die Höhenangabe wird direkt die ellipsoidische Höhe im System ETRS89 herangezogen.

## 2 Datenerfassung mittels Mobile Mapping

### 2.1 Beschreibung des Leica Pegasus Mobile Mapping Systems

Dem Forschungslabor für hochautomatisiertes Fahren steht seit Mai 2018 ein Mobile Mapping System (MMS) der neuesten Generation zur Verfügung (Pegasus:Two Ultimate Dualhead<sup>2</sup> von Leica Geosystems, siehe Abbildung 2). Das MMS ist mit folgender Sensorik ausgestattet:

- Zwei Stück Z+F LIDAR Profiler 9012 (+/- 1mm Messgenauigkeit, Rotation bis 200Hz, 1 Million Punkte pro Sekunde, Reichweite 100m)
- Vier seitlich angeordnete hochauflösende RGB-Kameras (12 MPixel, bis 8fps)
- Eine RGB-Panoramakamera (24MPixel, 360x180° FOV)

---

<sup>2</sup> [https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus\\_two-ultimate](https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus_two-ultimate)

- Optionale „Pavement“-Kameras zur hochauflösenden Aufnahme der Fahrbahn
- Novatel SPAN System zur präzisen Positionierung/Orientierung:
  - GNSS Receiver unterstützt GPS, GLONASS, Galileo und Beidou
  - IMU-FSAS Inertialmesssystem (200Hz)
  - Kistler Odometer (externer Radsensor) mit ca. 2mm Auflösung



Abb. 2: Installation des Mobile Mapping Systems auf einem JR Firmenfahrzeug (Foto: B. Bergmann)

Mit Hilfe dieser Sensorik können hochauflösende 3D Punktwolken erzeugt und unter optimalen Bedingungen mit einer Absolutgenauigkeit von  $\pm 2\text{cm}$  georeferenziert werden. Durch die beiden ca.  $45^\circ$  gegenüber der Vertikalen geneigten und um  $90^\circ$  gegeneinander versetzten Profiler werden Scanabschattungen minimiert, wodurch bereits eine Aufnahme pro Richtungsfahrbahn ausreichend ist, um dichte und vollständige Scans der Straßeninfrastruktur inklusive der Fahrbahn zu generieren. Bei einem Trigger-Intervall von 4-5m werden pro Stunde ca. 150GByte an Rohdaten erzeugt, mit dem verfügbaren Onboard Speicher können so 6-7 Stunden durchgehend Daten aufgezeichnet werden.

Nach der Lieferung des Pegasus Systems im Mai 2018 wurde nach einer intensiven Einschulungs- und Testphase im Juli 2018 mit der Aufnahme der Teststrecken begonnen. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass hier durch das Forschungslabor schon wichtige organisatorische Vorarbeiten geleistet wurden wie z.B. das Einholen von Genehmigungen der Datenschutzbehörde, Zulassung des externen Radsensors durch die Kfz-Prüfstelle etc.

## 2.2 Aufnahme des ALP.Lab Streckennetzes

Den konkreten Befahrungen mit dem MMS ging eine ausführliche Planungsphase voraus um eine reibungslose Aufnahme unter optimalen Bedingungen garantieren zu können. Da die Autobahnen und Schnellstraßen aufgrund des sehr hohen Verkehrsaufkommens im Großraum Graz für dieses Projekt nicht gesperrt werden konnten war eine enge Koordination mit dem Autobahnbetreiber

notwendig. Nur durch ein Rückhalten des Verkehrs mit Begleitfahrzeugen können Scanabschattungen durch überholende Fahrzeuge verhindert werden, daher wurde folgende Befahrungstaktik angewandt:

- Befahrung vorzugsweise am Sonntagvormittag (LKW Fahrverbot, geringeres Verkehrsaufkommen)
- Begleitschutz durch mindestens zwei Fahrzeuge (siehe Abbildung 3)
- Aufnahme von maximal 35km langen Teilabschnitten um zu großen Rückstau zu vermeiden



Abb. 3: Aufnahme der Autobahn A9 im Großraum Graz (Foto: G. Greiner, ALP.Lab GmbH)

Als zusätzliche Rahmenbedingungen sind zu nennen:

- Aufnahme erfolgt mit 80km/h um den Scanlinienabstand auf maximal 15cm zu begrenzen
- Eine erfolgreiche Aufnahme ist nur bei guten Wetterbedingungen möglich (trockene Fahrbahn, gute Lichtverhältnisse), daher vorzugsweise in den Monaten Mai-Oktober
- Aufgrund zahlreicher Baustellen (z.B. Generalsanierung Graz Ost-West) muss deren Fertigstellung abgewartet werden
- Für Spezialaufnahmen der Tunnel (Aufnahme mit 30km/h, Spezialbeleuchtung) müssen Tunnelsperren (meistens in der Nacht) ausgenutzt werden

Dank der ausgezeichneten Zusammenarbeit mit den betroffenen Autobahnmeistereien konnten im Zeitraum Juli – November 2018 in insgesamt zehn Mobile Mapping Missionen qualitativ äußerst hochwertige Daten vom gesamten Streckennetz erfasst werden, in denen praktisch keine Scanabschattungen bzw. „LIDAR-Ghosts“ durch vorbeifahrende Fahrzeuge enthalten sind. Dies erleichtert ungemein die weitere Verarbeitung der Daten und ist ein wesentlicher Faktor zur Erreichung einer hohen Qualität der UHDmap.

## 2.3 Aufbereitung der Mobile Mapping Daten

Um von den aufgenommenen Rohdaten zu den georeferenzierten Bild- und Laserscandaten zu kommen bedarf es vor allem einer sorgfältigen Berechnung der Fahrzeugtrajektorie. Diese wird für jede Mission aus den aufgezeichneten GNSS, IMU und Odometerdaten sowie den zusätzlichen beschafften GNSS-Basisstationsdaten der im Aufnahmegebiet liegenden APOS Referenzstationen abgeleitet. Die Positionen werden daher mittels „Differential GNSS“ aus den Basislinienmessungen im System ETRS89 abgeleitet und die Trajektorie schließlich als Fusion aller verfügbarer Messdaten (IMU, Odometer) mittels „Tightly Coupled“ Ansatz mit Inertial Explorer berechnet (siehe Abbildung 4). Die Stützung durch das Odometer wirkt sich speziell bei den langen Tunnels positiv auf die berechnete Trajektorie aus. Da diese im Postprocessing zeitlich gesehen als „Forward“ und „Reverse“ Lösung berechnet werden kann ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten zur Qualitätsverbesserung.

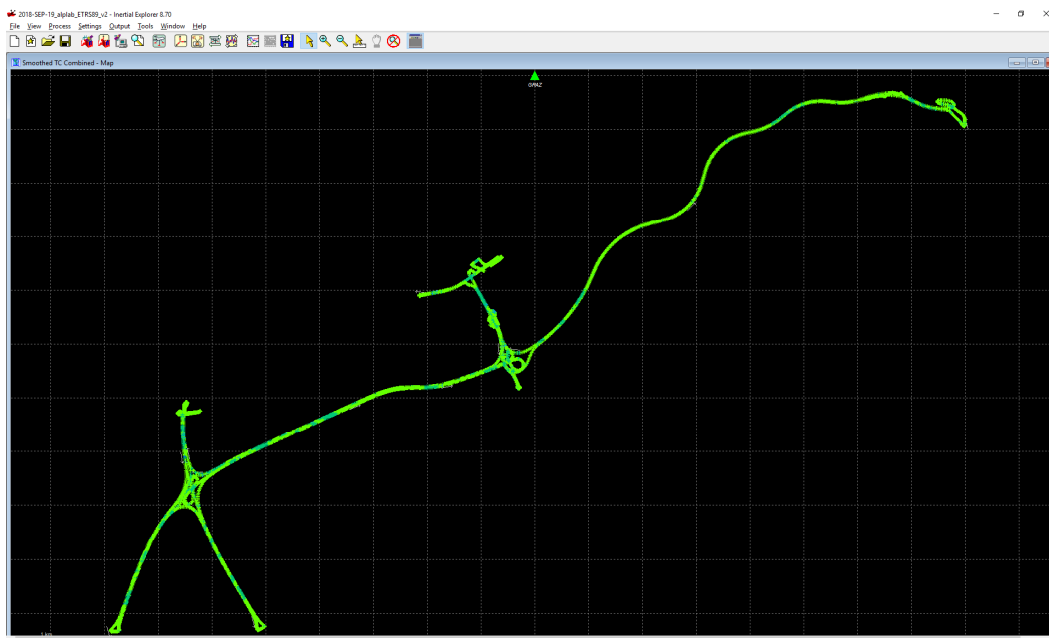


Abb. 4: Berechnung der Fahrzeugtrajektorie mit Inertial Explorer (Abschnitt A2 Graz West bis Laßnitzhöhe)

Die erzielbaren Lage-Genauigkeiten können wie folgt abgeschätzt werden:

- +/- 2cm unter optimalen Bedingungen (Open-Sky, kein Multipath)
- <= +/- 5cm unter erschwerten Bedingungen (verringerte Sat.-Anzahl durch GNSS Abschattungen, Multipath)
- +/- 5-10cm bei kurzzeitigem totaler GNSS Ausfall z.B. in kurzen Tunnels bzw. leichte Abschattungen/Multipath in bebauten Gebieten
- > +/-10cm bei längerem schlechten GNSS Empfang (z.B. Stop & Go Verkehr in der Stadt mit GNSS Abschattung bzw. Multipath durch hohe Gebäude, totaler GNSS Ausfall in längeren Tunnels)
- In sehr langen Tunnels (>5km) erreicht der Fehler in Tunnelmitte die Größenordnung von einigen Metern

Eine tatsächliche Überprüfung der Lage- bzw. Höhengenaugigkeit kann allerdings nur durch unabhängig eingemessene Kontrollpunkte erfolgen. Zu diesem Zweck wurden durch ein Vermessungsbüro auf der A2 im Bereich von km170.4 bis km184.8 insgesamt fünf Passpunktnester mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\text{cm}$  bzw.  $\pm 2\text{cm}$  in Lage bzw. Höhe eingemessen. Ein Vergleich mit den in den Mobile Mapping Daten gemessenen Zieltafeln ergab eine sehr gute Übereinstimmung, die Standardabweichung aus insgesamt 21 Punkten betrug  $\pm 2.7\text{cm}$  in der Lage und  $\pm 3.6\text{cm}$  in der Höhe.

### 3 Erstellung der UHDmap

Abbildung 5 stellt den Verarbeitungsablauf von Mobile Mapping Daten über die semiautomatische Digitalisierung in eine Geodatenbank bis hin zum Export der digitalen Karte in für Simulation oder Analytik verwendbare Formate dar:

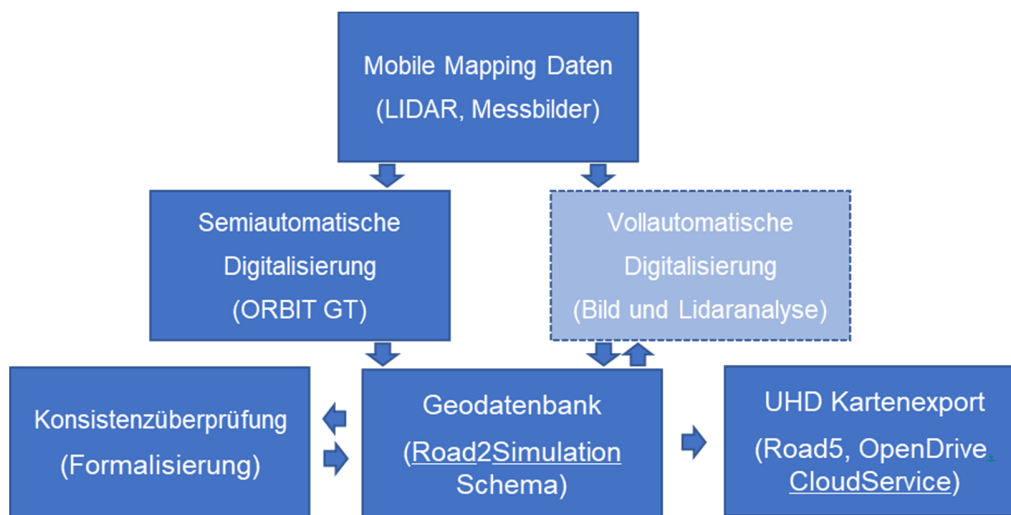


Abb. 5: Workflow der UHD Kartenerstellung

Dieses Blockdiagramm beinhaltet ebenfalls einen Verweis auf die laufende Forschung mit dem Ziel einer vollautomatischen Digitalisierung basierend auf Mobile Mapping Daten, die ohne manuelle (Hilfs-)Eingriffe Features ableitet und direkt in die Geodatenbank schreibt. Für die Entwicklung des automatischen Workflows werden manuell annotierte Ground Truth Daten aus der Geodatenbank herangezogen. Im Folgenden werden die Komponenten „Mobile Mapping Daten“, „Semiautomatische Digitalisierung“, „Geodatenbank“, „Konsistenzprüfung“ und „UHD Kartenexport“ genauer beschrieben.



### 3.1 Mobile Mapping Daten

Nach der Aufbereitung der Fahrzeugtrajektorie werden der Laserscanpunktvolke absolute Koordinaten im System ETRS89/UTM33 zugewiesen. Neben den 3D Koordinaten in Metern X (Rechtswert), Y (Hochwert) und Z (Höhe über Referenzellipsoid) sind zudem der Reflexionswert und ein dazu assoziierter RGB Farbwert aus der kalibrierten Panoramakamera verfügbar. Dadurch ist eine 3D Datenannotation in der Punktvolke mit optionaler Überlagerung der Bilder der Panorama- und Planarkameras möglich.

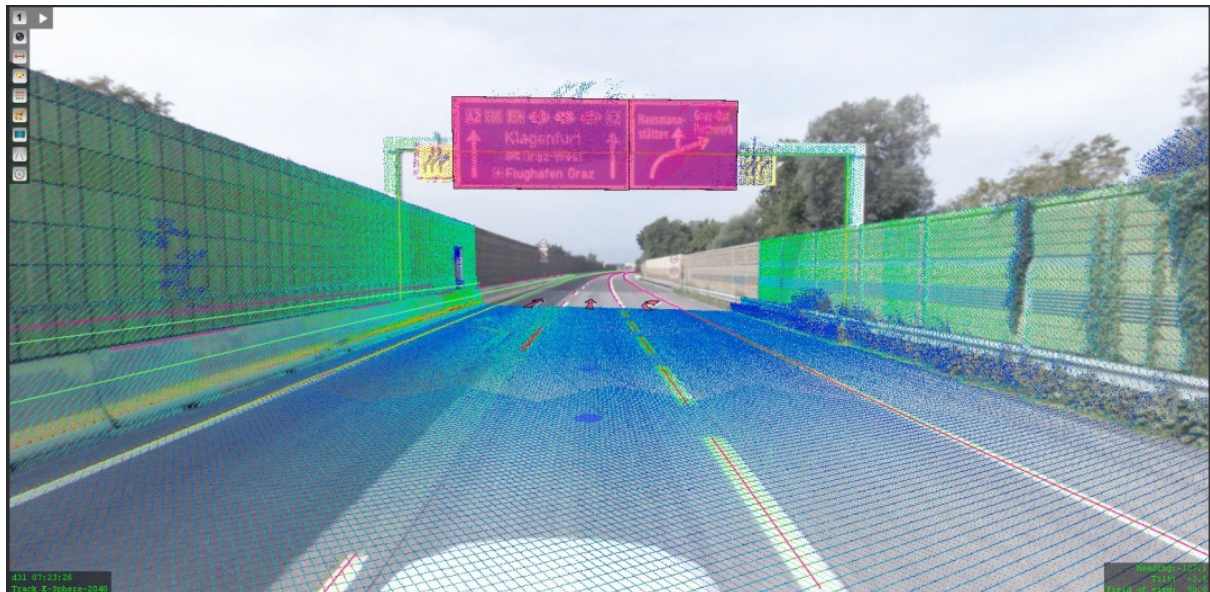


Abb. 6: Punktvolke mit überlagertem Panoramabild und Annotationen

### 3.2 Beschreibung der benötigten 3D Objekte / Geodatenbank

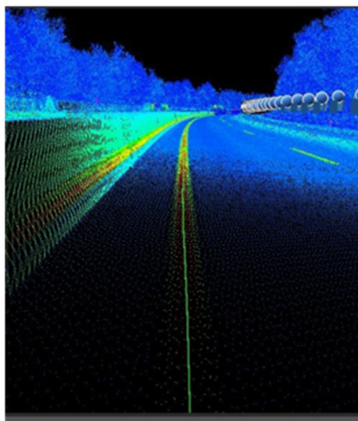
Zum Aufbau der digitalen Karte wird ein Datenbankstrukturschema aufbauend auf Road2Simulation (R2S), einem Leitfaden zur Erhebung von Straßendaten für Simulation und Entwicklung vom Deutschen Institut für Luft- und Raumfahrt (RICHTER & SCHOLZ 2018) benutzt. Hierbei werden Straßenattribute über OGC Simple Feature<sup>3</sup> konforme Datentypen (3D Linien und Polygone) mit Metainformationen extrahiert. Die Speicherung der Daten erfolgt direkt in eine auf PostgreSQL 10.5 mit Postgis 2.4 basierende Geodatenbank, die neben optimierten Datenstrukturen für Speicherung von 3D Koordinaten außerdem interne Funktionalität zu deren Prozessierung zur Verfügung stellt (3D Linienschnitt, Distanzberechnung, Datenbereinigung, etc.). Eine Übersicht der in die Datenbank gespeicherten Features stellt Tab. 1 dar.

<sup>3</sup> <https://www.opengeospatial.org/standards/sfa>

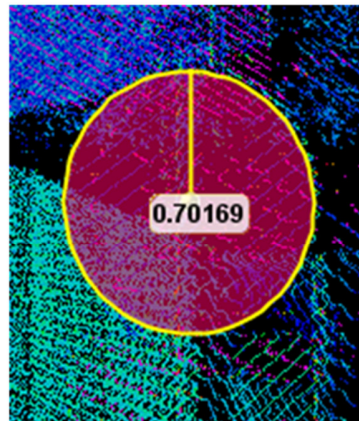
Tab. 1: Übersicht erhobene Straßenfeatures

Feature	R2S Pendant	Datentyp	Metainformation
Straßenverlauf	r2s_referenceline	LINESTRING Z	Straßenname, Richtung, Kategorie
Abbiegebeziehungen	r2s_referenceline	LINESTRING Z	Vorgänger, Nachfolger
Fahrspurbegrenzungen	r2s_laneborder	LINESTRING Z	Fahrspurtyp
Fahrbahnmarkierungen	r2s_mark	MULTILINESTRING Z	Typ, Farbe, Stärke
Verkehrszeichen und Signalanlagen	r2s_pointobject	POLYGON Z	Typ, Inhalt
Bodenmarkierungen	r2s_pointobject	POLYGON Z	Typ
Überkopfkonstruktionen	r2s_linearobject	MULTILINESTRING Z	Typ
Leitplanken und Betontrenner	r2s_linearobject	MULTILINESTRING Z	Typ
Lärmschutzwände	r2s_linearobject	MULTILINESTRING Z	Typ

Der Unterschied zu Road2Simulation im Detail ergibt sich durch zusätzliche Speicherung des 3D Umrisses von Punktobjekten zu der 3D Zentrumskoordinate, wie etwa Rechtecke bei Hinweis- oder Kreise bei Verbotsschildern (siehe auch Abbildung 7b). Zusätzlich werden Metadaten der Bearbeitungshistorie hinterlegt um eine Versionierung zu ermöglichen.



(a) Bodenmarkierung



(b) Verbotsschild



(c) Lärmschutzwand

Abb. 7: Beispiele für die Digitalisierung verschiedener Objekte in Orbit

### 3.3 Semiautomatische Digitalisierung

Die semiautomatische Auswertung der Punktwolke erfolgt in der Software ORBIT GT Feature Extractor, welche in der Lage ist Mobile-Mapping Trajektorien mit dazugehörigen Punktwolken und Messbildern darzustellen.

In Abbildung 8 ist die Software Orbit mit geladener Punktwolke und einer 3D Linienmessung eines Teilssegmentes einer unterbrochenen Bodenmarkierung dargestellt. Der obere Teil (Map 2D) zeigt den Grundriss der Punktwolke eingefärbt mit RGB Information, der untere Teil (Mobile Mapping) die dem Panoramabild überlagerte Punktwolke eingefärbt mit Intensitätsinformation.

Rechts ist das aktuell ausgewählte Messwerkzeug zu finden. Die aktuelle Messung ist gelb dargestellt; das Messergebnis mit 6.215 Metern in der Länge und 0.025 Metern in der Höhe kann rechts abgelesen werden.

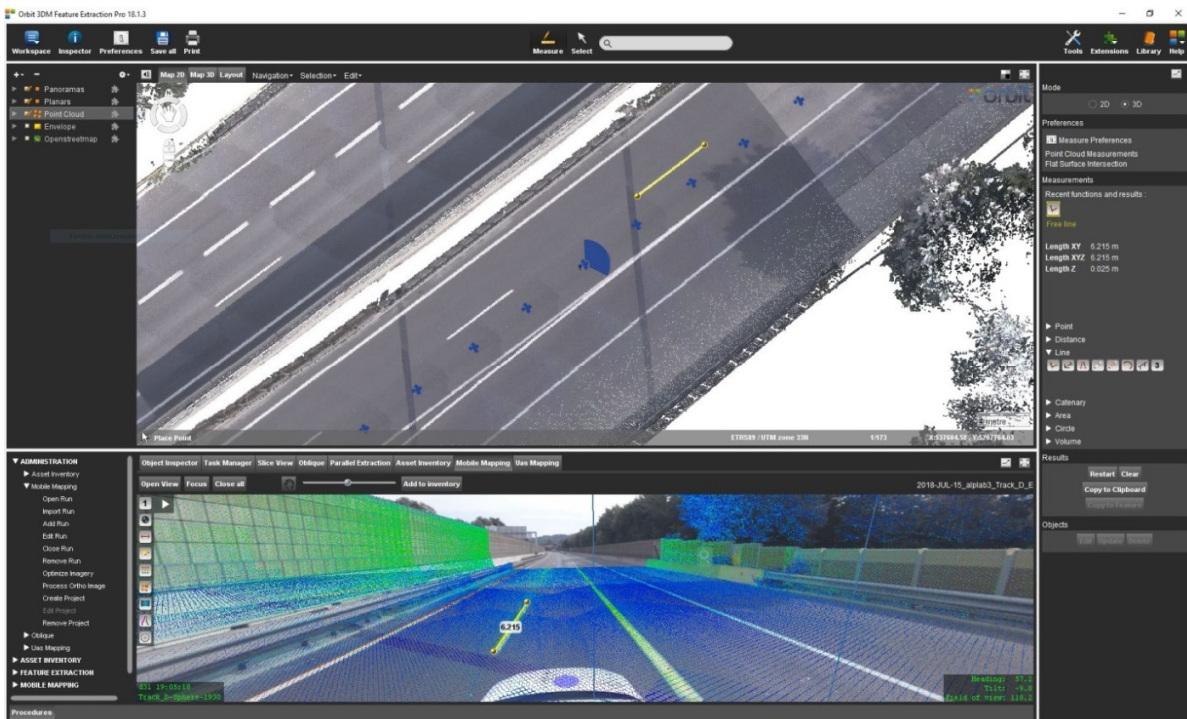


Abb. 8: ORBIT Feature Extractor Desktop

Zur Extraktion von Features stehen neben manuelle Selektionstools ebenfalls semiautomatische Annotationsworkflows zur Verfügung. So ist in Bereichen mit hoher Punktwolkendichte und gutem Kontrastverhältnis in der Reflexionsintensität (z.B. bei Bodenmarkierungen) bei Spezifikation eines Startpunktes eine automatische Vervollständigung eines Liniensegments bis hin zu mehreren Kilometern möglich (siehe auch Abbildung 7a).

### 3.4 Herstellen der Datenkonsistenz

Um den Road2Simulation Spezifikationen zu entsprechen ist nach einem (semi-)automatischen Digitalisierungsvorgang eine entsprechende Konsistenzüberprüfung der Kartenfeatures durchzuführen. Dabei werden neben der Sicherstellung von Punkt- und Tangentenstetigkeit in Übergängen logisch zusammenhängender Liniensegmente aufgenommene Daten auf Plausibilität überprüft und Redundanzen entfernt. Zusätzlich werden Daten, die sich aus erhobenen Features ableiten lassen (z.B.: Fahrspuren und Mittelachsen) generiert.

Die automatische Prozessierung ist darauf ausgelegt, ihre Ergebnisse direkt in die Geodatenbank zurück einzufügen bzw. zu ergänzen. Die Nachbearbeitungsschritte können ebenfalls iterativ ausgeführt werden.

### 3.5 UHD Kartenexport

Im Rahmen des Projektes wurde eine vollständige manuelle Annotierung folgend der Road2Simulation Spezifikation im Abschnitt Graz West – Graz Ost – Laßnitzhöhe durchgeführt (siehe Ausschnitt in Abbildung 9).



Abb. 9: Beispiel Digitalisierung Knoten Graz West

Das für die Geodatenbank verwendete Road2Simulation Datenbankschema kann in mehrere Containerformate (z.B.: Geopackage, Spatialite, Postgres-Dump, GeoJson, Shapefiles) exportiert und mit GIS Bearbeitungssoftware für Analyse und Vergleichszwecke geöffnet werden. Es wird darüber hinaus in weiterer Folge möglich sein, in die Simulationsformate OpenDrive und road5 für IPG Carmaker zu exportieren.

## 4 Fazit & Ausblick

Die JOANNEUM RESEARCH hat sich mit dem jungen Forschungsbereich für hochautomatisiertes Fahren primär dem drängenden Thema der Validierung von automatisierten Fahrzeugen gewidmet. Zur Sicherstellung der Wirkung der investierten Forschungsgelder werden wichtige Österreichische Akteure aus Wissenschaft und Industrie, welche auch hinter der Österreichischen Testregion für automatisiertes Fahren (ALP.Lab GmbH) stehen, direkt in die Anforderungsdefinition und Evaluierung der Ergebnisse mit eingebunden. Im speziellen lauten die Forschungsfragen (i) welche Inhalte und qualitativen Eigenschaften eine Referenzkarte für die Validierung von automatisierten Fahrzeugen haben muss als auch (ii) wie hochgenaue, richtige und vollständige Referenzkarten (UHDmaps) automatisiert auf Basis von Mobile Mapping Daten erstellt werden können. Schlussendlich wird erforscht wie (iii) eine solche Kartenbasis aktuell gehalten werden kann. Die gegenständige Abhandlung zeigt die Erarbeitung der Grundlagen für die Bearbeitung der oben genannten Forschungsfragen. Ein Verständnis für den Stand der Technik im Bereich Mobile Mapping und semi-automatischer Erstellung von Referenzkarten sowie die Evaluierung von verfügbaren Werkzeugen hat aufgezeigt, wo die Forschung ansetzen muss um mittelfristig eine vollständige Automatisierung der Kartenerstellung erreichen zu können.

Neben der automatisierten Kartenerstellung, welche derzeit bereits in einer ersten Version evaluiert wird, sollen im Rahmen des 2019 startenden strategischen Forschungsprojekts DERIVE vollständige 3D Modelle als auch Material Eigenschaften direkt aus Mobile Mapping Daten abgeleitet werden. Damit werden die Grundlagen für eine realitätsnahe Simulation von virtuellen Sensorsystemen als auch für die externe Stimulation von Sensoren am Prüfstand geschaffen.

Kommerzielle Anbieter von Karten setzen derzeit auf einen manuellen Workflow durch massiven Personaleinsatz in Billig-Lohn-Ländern, weshalb eine Automatisierung basierend auf Methoden der Sensorfusion, Signalverarbeitung und künstlicher Intelligenz neben der wissenschaftlichen Herausforderung auch ein hohes wirtschaftliches Potential darstellt.

Die Absicherung von automatisierten Fahrzeugen zur Gewährleistung des sicheren Betriebs auf öffentlichen Straßen stellt Wissenschaft und Industrie vor große Herausforderungen deren Bewältigung schlussendlich entscheidend für den Erfolg einer automatisierten Mobilität sein wird.

## 5 Literaturverzeichnis

OTTER, J., HÖGGERL, N., IMREK, E., STANGL, G. & ZAHN, E., 2015: 3-D Referenzsysteme in Österreich. [http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/page/BEV\\_Portal\\_Content\\_Allgemein/0200\\_Produnkte/Schnittstellenbeschreibungen/Systeme\\_Landesvermessung\\_2015.pdf](http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/page/BEV_Portal_Content_Allgemein/0200_Produnkte/Schnittstellenbeschreibungen/Systeme_Landesvermessung_2015.pdf), letzter Zugriff 20.12.2018.

RICHTER, A. & SCHOLZ, M., 2018: Road2Simulation Guidelines - Leitfaden zur Erhebung von Straßendaten für Simulation und Entwicklung. Version 1.2, [https://www.dlr.de/ts/Portaldata/16/Resources/projekte/road2simulation/TD\\_TS\\_R2S\\_Guidelines\\_v1.2\\_DE.pdf](https://www.dlr.de/ts/Portaldata/16/Resources/projekte/road2simulation/TD_TS_R2S_Guidelines_v1.2_DE.pdf), letzter Zugriff 20.12.2018.