

Mobiles Straßenerfassungssystem - auf den Pflasterstein genau.

Christiane Radies



Sebastian Tuttas



Gunnar Gräfe



I. Einleitung

Im Rahmen des geodätischen Kolloquiums an der Technischen Universität München (TUM) stellen ehemalige TUM-Absolventen ihre späteren Tätigkeiten vor. Im Sommer 2018 haben die Autoren Christiane Radies (Master Geodäsie und Geoinformation 2013) und Sebastian Tuttas (Master Geodäsie und Geoinformation 2010, Promo-

tion zum Dr.-Ing. am Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung 2017) die Firma 3D Mapping Solutions und ihre Tätigkeiten in diesem Unternehmen präsentiert. Der folgende Artikel basiert auf ihrem Vortrag. Neben der Firmenvorstellung (siehe Kapitel II) werden die Messtechnik (siehe Kapitel III) und die Tätigkeiten der Autoren (siehe Kapitel IV) beschrieben und anhand von Beispielprojekten die Anwendungsbereiche der von 3D Mapping Solutions erfassten Daten und der daraus generierten Produkte gezeigt (siehe Kapitel V).

II. Firmenvorstellung

Die 3D Mapping Solutions GmbH ist einer der führenden Experten in der kinematischen Vermessung von Verkehrsnetzen. Sie bietet Dienstleistungen, Hardware- und Softwarelösungen sowie Beratungsleistungen im Bereich der kinematischen Vermessung an. 3D Mapping Solutions ist hervorgegangen aus der Arbeitsgruppe integrierte kinematische Vermessung (ikV) am Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr in Neubiberg, wurde 2007 gegründet und beschäftigt momentan 50 Mitarbeiter. Neben seinem Hauptstandort in Holzkirchen ist 3D Mapping Solutions seit 2018 auch in Pittsburgh, PA, USA vertreten.

3D Mapping Solutions deckt die komplette Prozesskette des Mobile Mapping ab. Es werden sowohl Laserscanning-Punktwolken als auch Bilddaten hochauflösend erfasst. Zu einem Messprojekt gehören die Befahrungsplanung und die Befahrung und im ersten Schritt die Auswertung der Messdaten zu georeferenzierten Punktwolken und Bildern. Aus diesen Daten werden Bestandspläne für Straßen- und Schienenwege für die Ingenieurvermessung erzeugt und hochgenaue Referenzkarten, sogenannte High-Definition (HD) Maps, oder hochgenaue Oberflächenmodelle für den automobilen Bereich modelliert. Ergebnis ist eine digitale Abbildung der Realität als Grundlage für Anwendungen in der automobilen Entwicklung, wie zum Beispiel als hochgenaue Kartenreferenz für das autonome Fahren. Des Weiteren dienen die Auswertungen als Datengrundlage für Simulationen, z.B. Fahrsimulationen oder Verkehrssimulationen, und als Grundlage für die Erstellung virtueller 3D-Umgebungen, z.B. für hochwertige Computerspiele. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Prozessschritte genauer erläutert.

III. Von der Datenaufnahme zum fertigen Produkt

1. Messtechnik und Datenaufnahme

1.1. Messfahrzeug

3D Mapping Solutions verfügt über mehrere Messfahrzeuge, die international im Einsatz sind. Aufbau, Konzept und Software der Messsysteme sind Eigenentwicklungen der Firma 3D Mapping Solutions [Gräfe 2007a, Gräfe 2007b]. Die Hauptkomponenten sind in Abbildung 1 gezeigt.

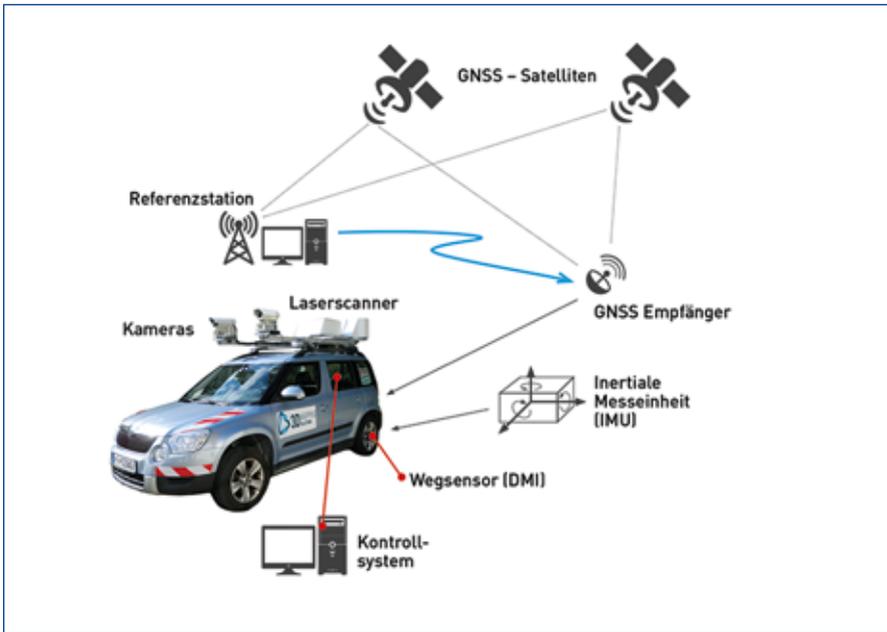


Abbildung 1: Messfahrzeug und Messaufbau

Für die Bestimmung der Trajektorie werden ein GNSS-Empfänger, eine Inertiale Messeinheit (IMU) sowie ein Wegsensor eingesetzt. Die Sensoren für die eigentliche Vermessung der Verkehrswege sind zwei Profillaserscanner sowie mehrere Messkameras. Die Komponenten können flexibel nach Anwendungsfall in Anzahl und Ausrichtung angepasst werden. So können auch mehr als zwei Scanner oder bis zu 12 Kameras verwendet werden. Die Messsysteme werden mit Hilfe des firmeneigenen Kalibrierverfahrens hochpräzise kalibriert. Dabei werden für jeden Sensor die 6 Freiheitsgrade sowie individuelle Sensorparameter, wie z.B. innere und äußere Orientierung der Kameras bestimmt.

1.2. Datenaufnahme

Je nach Anwendungsgebiet eines Projektes lassen sich Parameter der Messfahrt anpassen, wie z.B. Fahrtverlauf, Befahrungsrichtung, die Fahrgeschwindigkeit oder Ausrichtung der Kameras. Es werden bei Bedarf gegebenenfalls auch Passpunkte entlang der Strecke gesetzt und eingemessen, um den absoluten Genauigkeitsforderungen der Ingenieurvermessung zu entsprechen.

2. Auswertung der kinematischen Datenaufnahme

Die Auswertung der erfassten Daten startet mit der Berechnung der gefahrenen Trajektorie. Hier erfolgt im Post-Processing die Integration der Messdaten von GNSS, IMU und Wegsensor. Die berechnete Trajektorie durchläuft anschließend eine Vielzahl von Qualitätsprüfungen und Anpassungsschritten.

Die Verwendung von zwei Laserscannern erlaubt eine hochpräzise Kontrolle der relativen Genauigkeit der Trajektorie. Jeder Ort wird von jedem der beiden Scanner gemessen aber immer zu unterschiedlichen Zeitpunkten, womit die kurzfristige Stabilität der Trajektorienlösung überprüft und gegebenenfalls mit entsprechenden Korrekturalgorithmen verbessert werden kann.

Reicht die Genauigkeit der kinematischen Vermessung mit GNSS und IMU zur Einhaltung hoher absoluter Genauigkeitsforderungen nicht aus, werden zusätzlich Passpunkte verwendet um die absolute Genauigkeit der Trajektorien zu verbessern.

Entscheidend für die Qualität der Messdaten, also der resultierenden Scannerpunktwolke und den georeferenzierten Bilddaten, ist die hochpräzise zeitliche Synchronisation aller Messdaten. Durch diese kann die hohe relative Genauigkeit zwischen allen Messdaten erreicht werden.

3. Datenverarbeitung, Produkte und Kunden

3.1. Produkte und Dienstleistungen

a) Vermessung von Verkehrsnetzen

Dieses Feld umfasst die ingenieurgeodätische Vermessung von Straßen und Bahnstrecken. Dies beinhaltet z.B. die Bestandserfassung einer Autobahn, Bundesstraße oder Innenstadt, die hochpräzise Vermessung von Tunnel oder die digitale Erfassung für eine virtuelle Streckenbegehung von Eisenbahntrassen (siehe Projektbeispiel in Kapitel V, Abschnitt 2). Im Bereich Tunnelvermessung war 3D Mapping Solutions sowohl bei der Vermessung des Gotthard- wie auch des Lötschberg-Basistunnels beteiligt.

b) HD Map

High Definition Maps sind hochaufgelöste hochgenaue Referenzkarten, die ein digitales Abbild der Realität darstellen. Grundlagendaten sind Laserscanndaten und Kamerabilder von Autobahnen, Prüfgeländen oder Innenstädten aus der kinematischen Vermessung. 3D Mapping Solutions wertet diese Daten mit Hilfe einer dafür speziell entwickelten Prozesskette aus und führt die Ergebnisse in einem Bestandsplan zusammen. Anschließend wird die Verkehrslogik, also die topologische Struktur aller Spuren, Verbindungen, Gehwege, Radwege etc. anhand der Beschilderung oder der Straßenmarkierungen ermittelt und in den Bestandsplan eingearbeitet. Die zusätzlich enthaltene Verknüpfungslogik ist die Voraussetzung, um auf Basis von HD Maps Anwendungen der Automobilindustrie simulieren zu können. Exportformate für HD Maps sind zum Beispiel OpenDRIVE® oder ROAD5 for CarMaker by IPG Automotive. Abbildung 2 zeigt links das Spurmodell mit Netzwerklogik und zugrunde liegendem Bestandsplan. Die rechte Seite der Abbildung veranschaulicht die Kreuzung in dreidimensionaler Weise.

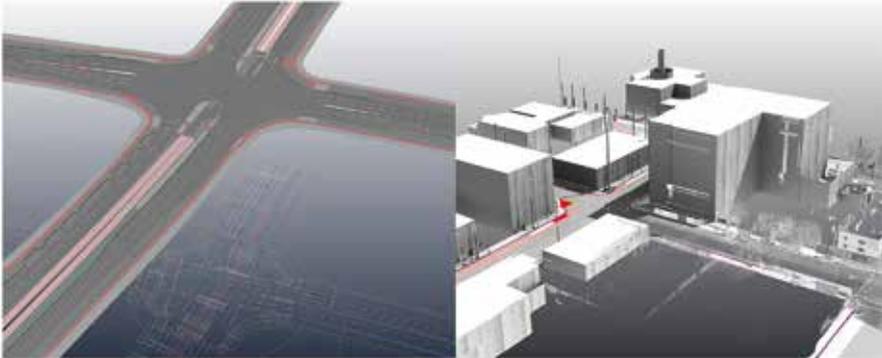


Abbildung 2: Beispiel einer Kreuzung als HD Map

c) Oberflächenmodelle

Hochauflösende Oberflächenmodelle sind die Grundlage für die Simulation von Reifen oder Fahrdynamik [Gräfe 2005, Haigermoser et al. 2015]. 3D Mapping Solutions bietet hier die Vermessung von Straßen und Teststrecken mit einer Rasterweite bis zu 5 mm und einer relativen Höhengengenauigkeit < 1 mm an. Die Oberflächenmodelle können in gängige Formate wie OpenCRG® [Rauh, 2010] oder RGR [Gipser, 2008] überführt werden, die in verschiedenen Simulationsumgebungen Anwendung finden.

3.2. Kunden

Kunden für diese verschiedenartigen Produkte sind Simulationssoftwarehersteller, Automobilhersteller, Zulieferer, Ingenieurbüros, Planungsbüros und Computerspielhersteller. Befahrungen für diese Kunden erfolgen in ganz Europa, den USA, China und Japan.

IV. Mitarbeiter und Kompetenzen

Für die Erfassung, Prozessierung und Auswertung der kinematischen Messdaten werden eine Vielzahl von geodätischen Kompetenzen benötigt (siehe Abbildung 3). Es beginnt mit den Kenntnissen über die verschiedenen Sensoren und ihre Eigenschaften. Die Erfassung von zusätzlichen Messdaten erfordert den Einsatz von GNSS, Tachymeter und Nivellier. Für die Berechnung der Trajektorien sind Kenntnisse der Zeitreihenanalyse und Filterung nötig. Die Ausgleichung von Passpunktnetzen, die Kalibrierung von Kameras und Scannern, die photogrammetrische Auswertung von Bilddaten, Bildverarbeitung sind weitere Beispiele für die Tätigkeitsfelder. Einen großen Teil nimmt die Prozessierung und Auswertung der Punktwolken ein, angefangen von der Synchronisation der Scanner über die Ko-registrierung von Messdaten mehrerer Messfahrten bis zur Berechnung der Oberflächenmodelle oder der Objektdetektion und -messung für die HD Maps.

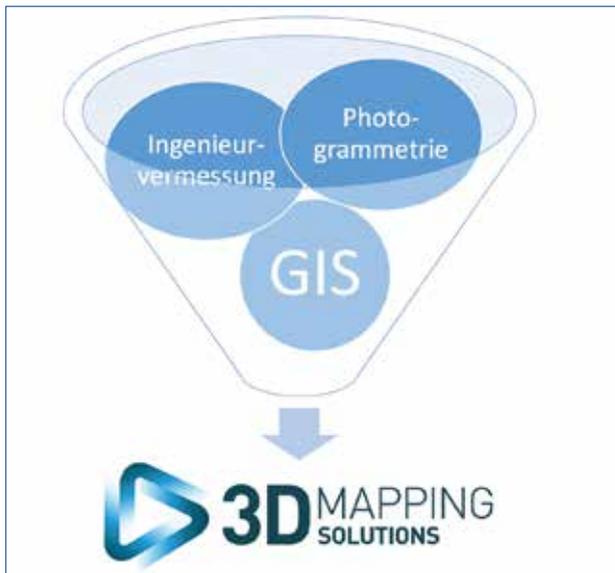


Abbildung 3: Geodätische Kompetenzen bei 3D Mapping Solutions

Die Tätigkeiten spiegeln sich in der Ausrichtung der Ausbildung der Beschäftigte wieder (siehe Abbildung 4). Es sind alle Ausbildungswege der Geodäsie vertreten, z.B. Vermessungstechniker, Bachelor- und Masterabsolventen von Hochschule und Universität aus den Studienrichtungen Geodäsie und Kartographie (siehe Abbildung 4).

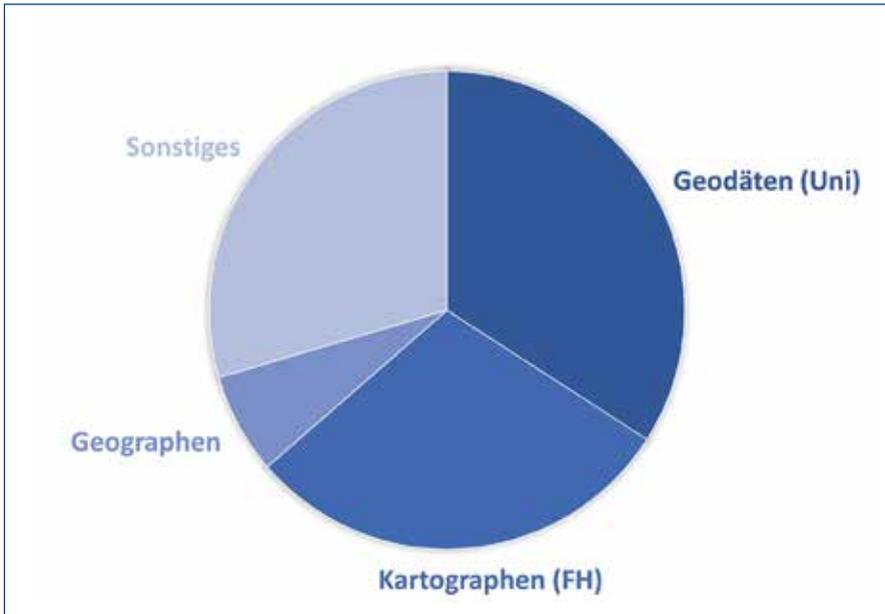


Abbildung 4: Ausbildungsrichtungen bei 3D Mapping Solutions

Im Folgenden stellen die beiden Autoren Sebastian Tuttas (Entwicklungsingenieur) und Christiane Radies (Projektmanagerin) ihre Tätigkeiten bei 3D Mapping Solutions vor:

1. Entwicklungsingenieur

Der Entwicklungsingenieur erstellt interne Analyse- und Auswertetools in verschiedenen Programmiersprachen. Dabei geht es zum Beispiel um die Neuentwicklungen und Adaption von Auswertemethoden oder Datenformate. Die ist vor allem dann nötig, wenn die Kunden vom Standardprodukt abweichende Anforderungen haben oder zusätzliche Auswertungen benötigen. Oft werden solche Entwicklungen auch in Kooperation mit dem Kunden durchgeführt. Ein weiterer Tätigkeitsbereich ist die stärkere Automatisierung vorhandener, manueller oder semiautomatischer Prozesse. Der Entwicklungsingenieur führt auch Untersuchungen und Recherchen

zur Anpassung der Messtechnik, der Sensoren und vor allem der Auswertemethoden durch. Zuletzt ist er auch im Bereich der Forschungsprojekte tätig, an denen sich 3D Mapping Solutions beteiligt, wie z.B. in dem untenstehenden Projektbeispiel „Robot – Straßenbau 4.0“ (siehe Kapitel V, Abschnitt 1).

2. Projektmanager

Als Projektmanagerin geht es darum, mehrere Projekte ganzheitlich zu betreuen. Zu Beginn eines Projektes ist es nötig, die Aufwände zu schätzen. Nach Beauftragung plant die Projektmanagerin die internen Arbeitsschritte, terminiert die Lieferdaten und kommuniziert diese an den Kunden. Neben der Teamplanung gehört auch die Überwachung der Zeitplanung dazu. Die Projektmanagerin ist verantwortlich für einen reibungslosen internen Ablauf des Projektes zwischen den Fachabteilungen, sowie der Kommunikation mit dem Kunden bei Absprachen zu den Lieferumfängen und Übergaben. Eine schnelle Reaktion und Lösungssuche sind in Ausnahmefällen oder unvorhergesehenen Ereignissen erforderlich. Neben der Kundenberatung ist sie auch fachliche Ansprechpartnerin bei Rückfragen oder Anmerkungen zum Produkt. Zum Ende eines Projektes erstellt die Projektmanagerin einen Projektabschlussbericht mit Ergebnissen und Kennzahlen.

V. Projektbeispiele:

3D Mapping Solutions ist bestrebt neben den bereits genannten Produkten neue Anwendungsgebiete zu erschließen und ist deshalb an verschiedenen Forschungsprojekten oder Befahrungen mit speziell an den Kunden angepassten Messaufbauten beteiligt. Beispielhaft werden hier das Projekt Robot 4.0, die Vermessung der Schnellfahrstrecke Mannheim – Stuttgart sowie zwei Projekte aus dem Bereich des autonomen Fahrens (@City und Ko-HAF) vorgestellt.

1. Robot – Straßenbau 4.0

Die HD Maps von 3D Mapping Solutions dienen häufig als Input für die Forschung und Erprobung des autonomen Fahrens (siehe Projektbeispiel 3 und 4). Das Forschungsprojekt „Robot– Straßenbau 4.0“ [Watermann 2018] hat jedoch nicht den normalen Straßenverkehr, sondern den Straßenbau im Fokus. In diesem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) geförderten Forschungsprojekt mit den Verbundpartnern Technische Hochschule Köln, Technische Universität Darmstadt, MOBA Mobile Automation AG und TPA GmbH wird an einem autonomen Straßenfertiger geforscht. Ziele sind unter anderem eine Erhöhung der Qualität des Einbaus und Verbesserungen bei der Arbeits- und Verkehrssicherheit. Letztere spielen vor allem beim Asphalteinbau unter fließendem Verkehr eine wichtige Rolle.

Eine genaue Vermessung der Straßenoberfläche ist dafür vor und nach dem Einbau notwendig. Es ist geplant die Soll-Trajektorie des Fertigers anhand der vorher erfassten Oberfläche zu bestimmen und so die autonome Steuerung des Fertigers zu ermöglichen. Die im Anschluss erfasste Oberfläche erlaubt einen Soll-Ist-Vergleich bzw. einen Vergleich zwischen der vorher und der nachher erfassten Oberfläche. Die vermessene Oberfläche der eingebauten Asphaltsschicht kann später wichtige Daten für kommende BIM-Prozesse (Building Information Model) liefern und somit eine wichtige Rolle bei der Digitalisierung im Straßenbau spielen.

Weitere Forschungsthemen in diesem Projekt sind die Vernetzung aller Sensoren, die Überwachung des Mischgutes sowie die Kommunikation zwischen dem Fertiger und anderen Maschinen wie Beschicker oder Walzen.

2. SFS Mannheim - Stuttgart

Für die Sanierung der Schnellfahrstrecke (SFS) Mannheim – Stuttgart muss eine komplette Erfassung der Strecke erfolgen. In Zusammenarbeit mit der OBERMEYER Planen + Beraten GmbH wurde hier eine kinematische Erfassung der Strecke mit einer dafür angepassten Messanordnung durchgeführt. Die erfassten Bild- und Scannerdaten ermöglichen z.B. eine virtuelle Streckenbegehung. Bei dieser werden für den Umbau relevante Streckenhindernisse nicht durch Ablaufen und Aufmessen auf der Strecke erfasst, sondern das Durchlaufen erfolgt in den Punkt- und Bilddaten, in denen die Objekte dann auch sofort gemessen werden können. Werden die erfassten Daten in einer zentrale Datenbank gespeichert, sind sie eine wichtige Grundlage für die BIM-konforme Planung. Hieraus können dann z.B. benötigte 2D-Planunterlagen generiert werden und über entsprechende Schnittstellen abgerufen werden [Kückmann et al. 2017].

3. @City

Im Projekt @City (Automated Cars and Intelligent Traffic in the City) geht es um das automatisierte Fahren und den intelligenten Verkehr in der Stadt. Dabei soll nicht nur der Fahrer im Stadtverkehr bestmöglich unterstützt werden, sondern auch die Interaktionen zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern eine wichtige Rolle spielen. Aufgrund der sich schnell verändernden Umgebung reichen konventionelle Methoden, die beispielsweise in gut strukturierten Umgebungen wie Autobahnen schon heute eingesetzt werden, meist nicht aus, um die komplexen Situationen ausreichend genau zu beschreiben.

Ziel des Projekts @City ist es daher, leistungsfähige und robuste Algorithmen für das Situationsverstehen des automatisierten Fahrens im Stadtverkehr und die urbane Umgebungsrepräsentation zu entwickeln und zu erproben. Aufbauend darauf werden neue automatisierte Fahrfunktionen für die Stadt konzipiert, die den Fahrer auch

in diesen komplexen Situationen mit hoher Informationsdichte und sehr kurzen Reaktionszeiten die bestmögliche Unterstützung bietet. Weiterhin soll ein gemeinsames Verständnis zum automatisierten Fahren in der Stadt gefunden werden, in dem unter anderem Mindestfunktionalitäten und sicherheitsrelevante Aspekte definiert sind. [Engel N, 2018]

Im Teilprojekt "Urbane Karte und Lokalisierung" erstellt 3D Mapping Solutions hochgenaue digitale HD Maps als Referenzkarten für die Projektpartner, die als Grundlage für die Unterstützung der Sensorik zur Umgebungserfassung fungieren.

4. Ko-HAF

Während die erste Generation des hochautomatisierten Fahrens (HAF) den niedrigsten und niedrigen Geschwindigkeitsbereich in einfachen Verkehrssituationen wie dem Autobahnstau auf Basis bordautonomer Sensorik adressiert, soll die zweite, in diesem Vorhaben im Mittelpunkt stehende Generation, den höheren Geschwindigkeitsbereich auf gut ausgebauter Verkehrsinfrastruktur beherrschen, um für diesen Verkehrsbereich Sicherheit, Verkehrseffizienz und Komfort zu erreichen.

Das Projekt Ko-HAF zielt auf diesen nächsten wesentlichen Schritt in Richtung autonomes Fahren, das hochautomatisierte Fahren bei höheren Geschwindigkeiten. Diese Systeme der nächsten Generation sind dadurch charakterisiert, dass sie der Fahrer nicht mehr dauerhaft überwachen muss. Er muss jedoch in der Lage sein, die Steuerung nach Aufforderung mit einer gewissen Zeitreserve zu übernehmen. [Ko-HAF 2018]

Im Verbundprojekt Ko-HAF erstellte 3D Mapping Solutions eine hochauflösende Referenzkarte im OpenDRIVE® Format als Datengrundlage. Mit dem Mobilien Straßenerfassungssystem scannte 3D Mapping Solutions die Autobahnen A3, BAB661, A5, BAB66, BAB648 (siehe Abbildung 5), wertete die Daten aus und extrahierte Spurgeometrien und Objekte. Anschließend wurde die Verkehrsnetzlogik im internen CAD abgebildet. Für das Verbundprojekt wurden 216 km Fahrspurachsen modelliert, 3395 Signale, 6138 Punktobjekte, 356 Linienobjekte und 286 Kreuzungen abgebildet. Die halbautomatisierte Objektextraktion macht eine relative Genauigkeit von 1-3 cm für Straßenmarkierungen oder Objekte möglich. Neben 14 verschiedenen Spurtypen, bildete 3D Mapping Solutions das Verkehrsnetz durch 18 verschiedenen Objekttypen und alle Verkehrszeichen nach StVO ab. Das Verbundprojekt endet zum 30. 11. 2019.



Abbildung 5: Ko-HAF Offenbacher Kreuz

VI. Kontakt

Binnen 10 Jahren ist 3D Mapping Solutions von 2 auf 50 Mitarbeiter gewachsen. Das Unternehmen ist durch seine Kombination von kinematischer Ingenieurvermessung als Dienstleistung und Produktentwicklung von Oberflächenmodellen und HD Maps Marktführer. Der vorliegende Artikel zeigt die Vielfältigkeit der Anwendungsfelder und Tätigkeitsbereiche. 3D Mapping Solutions macht sich nun bereit für die nächste Wachstumsphase und sucht Ingenieure, denen der Millimeter nicht egal ist, Entwickler, die zwischen den Zeilen lesen, und Projektmitarbeiter für die digitale Auswertung von Straßendaten. Die Tätigkeitsbereiche spiegeln sich auch in der Liste der 3D Mapping Solutions Stellenbeschreibungen unter

<http://www.3d-mapping.de/wir-ueber-uns/jobs/>

wieder.

Das Unternehmen 3D Mapping Solutions GmbH ist in Holzkirchen, Raiffeisenstr. 16 ansässig.



Literatur:

- Engel N, 2018, <https://www.uni-ulm.de/in/iui-drive-u/projekte/city/> , zuletzt aufgerufen am 06.09.2018
- Gipser M., 2008, RGR Road Models for FTire, SAE Technical Paper doi:10.4271/2008-01-1410
- Gräfe G., 2007a, High precision kinematic surveying with laser scanners. Journal of Applied Geodesy (2007), 185 - 199.
- Gräfe G., 2007b, Kinematische Anwendungen von Laserscannern im Straßenraum. PhD thesis, Universität der Bundeswehr München, 2007.
- Gräfe G., 2005: Kinematic Determination of Road Surface Models. Proceedings Conference on Optical 3D Measurement Techniques VII, 21 - 30, Wien
- Haigermoser A., Lubert B., Rauh J., Gräfe G., 2015: Road and track irregularities: measurement, assessment and simulation. Vehicle System Dynamics, 53 (7), S. 878 - 957.
- Ko-HAF, 2018, <https://www.ko-haf.de/das-projekt/>, zuletzt aufgerufen am 06.09.2018
- Kückmann M., Bade M., Schneider P. 2017, BIM-konforme Oberbauplanung zur Sanierung von Schnellfahrstrecken EI – DER EISENBAHNINGENIEUR | Ausgabe Oberbau/2017
- Rauh J., 2010, „OpenCRG - The open standard to represent high precision 3D road data in vehicle simulation tasks on rough roads for handling, ride comfort, and durability load analyses. In: 1st OpenCRG workshop. Sindelfingen: <http://www.open-crg.org/>
- Watermann M., 2018, Robot – Straßenbau 4.0 Autonom arbeitende Maschinen im Straßenbau 4.0, 3. BIH-Treffen 2018 – Forschung. Lehre. Wissenschaft. ■■■