

MOBILE MAPPING – EINE REVOLUTION IM VERMESSUNGSWESEN?

Dieter Fritsch

Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart

dieter.fritsch@ifp.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Die schnelle und genaue Erfassung von Geodaten entlang von Straßen, Schienen sowie Überlandleitungen hat zur Entwicklung von Mobilern Vermessungssystemen geführt, die als „Mobile Mapping Systeme“ oder „Mobile Mapping“ bezeichnet werden. Darunter versteht man eine Sensorfusion bestehend aus Laser Scannern und/oder Bildsensoren, deren Position und Orientierung durch Integration von differentielltem GPS (DGPS) und Inertialem Messsystem (Inertial Measurement Unit, IMU) bestimmt werden – die gesamte Sensorik ist auf einem Fahrzeug montiert. Infolge der Fahrzeugbewegung und der hohen Datenrate bei der Erfassung entstehen Punktwolken von hoher Datendichte und Genauigkeit, die die Umgebung mit mm-Genauigkeit dokumentieren können.

Der Beitrag führt in den Systemaufbau ein und zeigt Beispiele entlang von Straßenerfassungen auf. Einen besonderen Schwerpunkt bildet das Pilotprojekt „Mobile Mapping und Stuttgarter Straßenbahnen“, welches erstmalig entlang der SSB-Schientrassen Punktwolken für eine manuelle, halb- und vollautomatische Auswertung erfasst hat. Erste Ergebnisse werden aufgezeigt.

1. Einführung

Mit der Einführung des Lasers wurde unter dem Akronym LiDAR (Light Detection and Ranging) in den 1960er Jahren die Voraussetzungen zur Entwicklung von Laser-Entfernungsmessern geschaffen. Darunter versteht man die automatische Entfernungsmessung mit gepulsten oder kontinuierlich strahlenden Laserlichtquellen. Im ersten Fall wird die Entfernung durch Laufzeitmessung von gepulsten Laserphotonen ermittelt, die aufgrund ihrer hohen Energie reflektiert werden und auf diese Weise das Zeitintervall zwischen ausgesandtem und empfangenem Photon(s) die Messgröße darstellt. Im zweiten Fall stellt die Phasendifferenz zwischen ausgesandtem und reflektiertem Signal die Messgröße dar, die mit mm-Genauigkeit die Reststrecke bestimmt, und zu der ein Vielfaches der Wellenlängen hinzuaddiert werden muss. Aufgrund von Sicherheitsbestimmungen, speziell im Hinblick auf Augensicherheit, sind die gepulsten Systeme überwiegend im Einsatz. Neuerdings kombiniert man gepulste und kontinuierlich strahlende Laserlichtquellen und kommt auf Datenraten von 1 Million Messpunkte pro Sekunde. Diese hohe Punktdichte hat zu einem Paradigmenwechsel in der Vermessungstechnik geführt: „Vom Punkt zur Punktwolke“.

Obwohl LiDAR bereits in den 1980er Jahren im Flugzeug und/oder Helikopter zur Erfassung von Höhenprofilen, seit den 1990er Jahren zur flächendeckenden Erfassung (Scanning) von Oberflächenmodellen eingesetzt wird, dauerte es weitere 10 Jahre, bis ab 2005 erste kommerzielle System für das Mobile Mapping zur Verfügung standen.

Die ersten Systeme im Mobile Mapping hatten mindestens zwei Laser-Scanner auf dem Dach eines Fahrzeugs montiert, dessen Position und Orientierung durch eine DGPS/IMU Integration mit hoher Datenrate gemessen werden konnte. GPS muss dabei im differentiellen Modus ausgewertet werden (DGPS), um cm-Genauigkeiten für die Position des Fahrzeugs zu erzielen. Wenn auch die DGPS-Position nur mit 1 Hz Abtastrate zur Verfügung stand, so lieferte die Inertial Measurement Unit (IMU) bereits eine Datenrate von 128 oder sogar 256 Hz. Heute sind bereits 512 Hz möglich, sodass sowohl Positionen wie auch Winkelinkremente (Orientierungen) auch für höhere Geschwindigkeiten eines Fahrzeugs (bis zu 100 km/h) hinreichend dicht geliefert werden können. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine schnelle Erfassung von Straßen- und Schienenoberflächen und ihrer Umgebung mittels LiDAR-basierten Systemen mit integrierten DGPS/IMU stabile Punktwolken liefert, wobei jeder Punkt von einer individuellen Position aus erfasst und zusätzlich noch mit Photo- oder



Abb. 1: Mobile Mapping LiDAR –
a) Fa. Tecon (© tecon)



b) Fa. 3D Laser Mapping/IGI (Copyright: 3D
Laser Mapping/IGI)

Videotextur eingefärbt werden kann. In Abb. 1 sind zwei typische Vertreter von Mobile Mapping mittels LiDAR vorgestellt.

Die Motivation für die Anwendung von Mobile-Mapping liefert die Punktwolke selbst (siehe Abb. 2): Mittels der sehr dichten 3D-Informationen können Häuserfassaden, Straßen- und Schienenoberflächen, Tunnel und weitere Objekte mm- bzw. cm-genau erfasst werden. Diese erleichtert ebenso die Inventur von Stadtmobiliar wie z.B. Straßenschilder, Verkehrsampeln, Hydranten und vieles mehr. Es lassen sich ebenso Aussagen zur Qualität der Straßenoberflächen wie auch -markierungen ableiten wie auch eine Detektion und Analyse von Oberflächenschäden durchführen. Beim Schienenmonitoring werden Lichtraumprofile sowie Längs- und Querneigungen der Gleisanlagen erfasst, eine Überwachung von Kabelschächten und Tunnelröhren ist leicht möglich wie auch die exakte Positionierung der Oberleitung.



Abb. 2: Typische Punktwolke des Mobile Mapping „auf der Straße“
© 3D Laser Mapping/IGI)

Wie bereits zuvor erwähnt, müssen die Sensoren (Laser-Scanner, Kameras) eines Mobile Mapping-Systems positioniert und orientiert werden. Hierzu werden während der Fahrt mittels einer GPS-Antenne Messungen zu einer ausreichenden Anzahl von GPS-Satelliten durchgeführt (1 Hz Abtastrate) und Beschleunigungen wie auch Drehraten eines Inertialen Messsystems (IMU) aufgezeichnet (512 Hz Abtastrate). Die aus der Autonavigation bekannte GPS-Positionierung (Einzelpunktbestimmung, Single Point Positioning) wäre hier zu ungenau – im Echtzeit-Navigationsmodus können lediglich 5-10 m Genauigkeit erzielt werden, die durch ein Map Matching noch auf die Mitte der Straßen bzw. Fahrbahnen korrigiert werden. In unserem Fall werden cm-Genauigkeiten für die Position benötigt. Hierzu bedienen wir uns des Differentiellen GPS (DGPS), bei dem die Relativbewegungen des Fahrzeugs mit Bezug zu einem Netz von Referenzstationen – zum Beispiel in Deutschland SAPOS (Satellitenpositionierungsdienst der AdV) – durch GPS-Strecken- und -Phasenmessungen hochpräzise bestimmt werden. Im günstigsten Fall werden dabei 5-10 cm Genauigkeiten erzielt, die durch Passpunkte entsprechend verbessert werden können. Bewegt sich ein Fahrzeug mit 72 km/h, so liefert GPS im Abstand von 20 m eine hochpräzise Position. Wie jedoch vorher beschrieben, werden alle Punkte in der Punktwolke von einer individuellen Position wie auch Orientierung erfasst. Es wird also ein weiteres System benötigt, welches Positionen wie auch Orientierungen in einem sehr dichten Abstand bereitstellt. Hier kommt nun das Inertiale Messsystem zum Einsatz. Bleiben wir beispielsweise bei der Geschwindigkeit von 72 km/h, welches 20 m/s entspricht, so liefert eine IMU mit einer Abtastrate von 512 Hz im Abstand von <4 cm die gewünschten Positionen und Orientierungen. Es gibt dabei jedoch noch ein Problem zu lösen: die Integration von DGPS und IMU-Beobachtungen zur Berechnung der optimalen Positionen und Orientierungen. Hierzu wird ein Kalman-Filter eingesetzt. Dieser Algorithmus nutzt die Langzeitstabilität von GPS, um die IMU-Driften zu korrigieren. Die IMU-Beschleunigungen liefern durch zweifache Integration Positionen, die direkt den GPS-Positionen gegenübergestellt werden können. Andererseits leisten Positionen einen Beitrag zur Berechnung von Richtungsänderungen. Mittels der Gyro-Drehraten der IMU können durch Korrekturen und einfache Integration die Orientierungen berechnet werden, die relativ zueinander sehr genau, jedoch ebenso einer Drift unterworfen sind. Die Implementierung eines Kalman-Filters ist daher ein zentrales Element in einem Mobile Mapping-System – es gibt verschiedene Lösungsansätze der Systemanbieter, die als Firmware für den Anwender schlecht oder nicht zugänglich sind. Eine mögliche Implementierung ist mit der Abb. 3 aufgezeigt

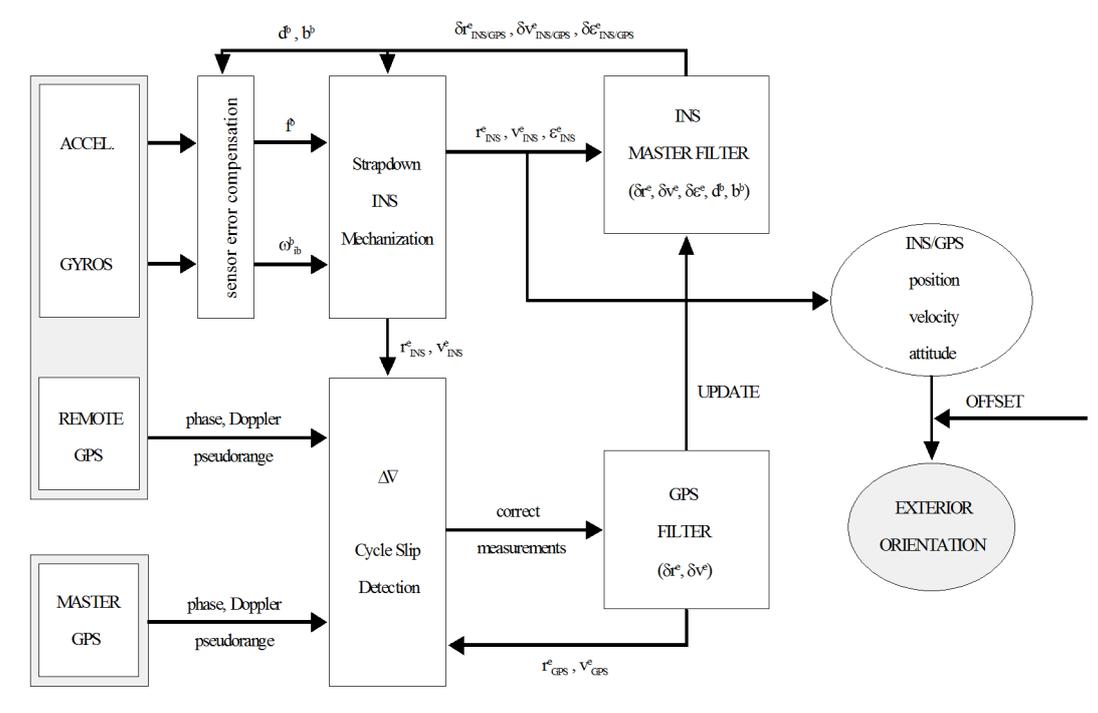


Abb. 3: GPS/IMU Integration mittels dezentralem Kalman-Filter

Mit den nun vorliegenden Positionen und Orientierungen in sehr dichtem Abstand entlang der Trajektorie des sich bewegenden Fahrzeugs können die Distanzmessungen eines Laser-Scanners ohne Probleme in Koordinaten x,y,z der Punktwolke umgerechnet werden. Die Genauigkeit der individuellen Punktbestimmung ist dabei abhängig von der Positions- und Lagebestimmung des Sensorsystems wie auch der Streckenmessung. Das Scan-Rauschen liegt im Bereich von 2-5 mm, womit hohe Relativgenauigkeiten innerhalb der Punktwolke erzielt werden können. Die Absolutpunktgenauigkeit ist daher direkt von der Lösung des Kalman-Filters abhängig – diese kann durch die Stützung von externen Kontrollpunkten (Passpunkten) entsprechend verbessert werden.

2. Mobile Mapping „auf der Straße“

Ein typischer Systemaufbau ist mit der Abb. 4a gegeben (System StreetMapper, Fa 3D LaserMapping/IGI). Zwei 360 Grad Scanner erfassen mit einer Abtastrate von 300 Hz Distanzen. Die GPS-Antenne beobachtet die GPS-Satelliten und das System IGI TERRAcontrol erfasst mit 400 Hz IMU-Beschleunigungen und -Drehraten. Alle Positions- und Lagebeobachtungen werden in einem Kalman-Filter zusammengeführt. Das System erlaubt eine max. Reichweite von bis zu 300 m, kann multiple Echos der Distanzmessung registrieren und auf diese Weise auch Vegetation detektieren. Die Streckenmessgenauigkeit ist im Bereich von 1 cm anzusetzen. Bei guter GPS-Konstellation wird die Absolutgenauigkeit mit besser als 3 cm angegeben (Kremer/Hunter, 2007). Das System ist portabel und kann daher auch in internationalen Projekten eingesetzt werden. Abb. 3b gibt eine mit diesem System erfasste Punktwolke wieder.



Abb. 4: StreetMapper – a)
Systemaufbau



b) Punktwolke © 3D LaserMapping/IGI

Um bereits 2007 die Frage zu beantworten, ob Mobile Mapping mit LiDAR dieselben Genauigkeiten wie terrestrisches LiDAR liefert, wurde in einem umfassenden Test ein Testgebiet im Stadtzentrum von Stuttgart mit dem StreetMapper System erfasst (Haala et al, 2008). Das Gebiet hat eine Ausdehnung von 1,5 km x 2 km; dabei wurde insgesamt eine 13 km Strecke innerhalb von 35 min. abgefahren. Als Referenz konnte auf das 3D-Stadtmodell der Stadt Stuttgart zurückgegriffen werden, dessen Dachgeometrie aus photogrammetrischen Stereomessungen abgeleitet wurde, bei einer Genauigkeit von ca. 1 dm. Um das Rauschen der erfassten Punktwolke zu bestimmen, wurde die Gebädefassade des Hotels Steigenberger Graf Zeppelin, gesehen vom Arnulf-Klett-Platz, tachymetrisch mit bis zu 2 cm Genauigkeit bestimmt. Über die gesamte Gebädefassade hinweg 26 m x 60 m) ergab sich eine mittlere quadratische Abweichung von 4,5 cm, für ausgewählte Gebiete innerhalb der Fassade sogar 2,2 cm. Eine systematische Abweichung von -7,6 cm ist durch die geometrische Genauigkeit des Referenzgebäudes gedeckt.

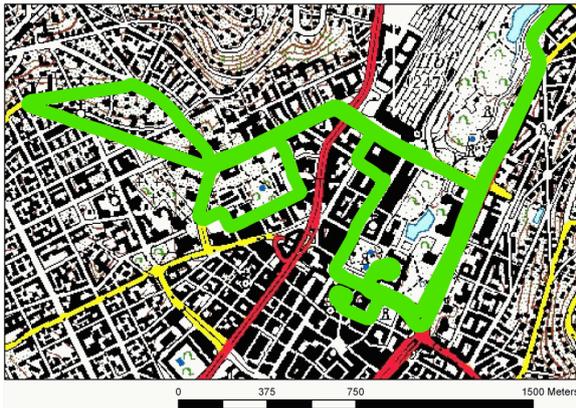
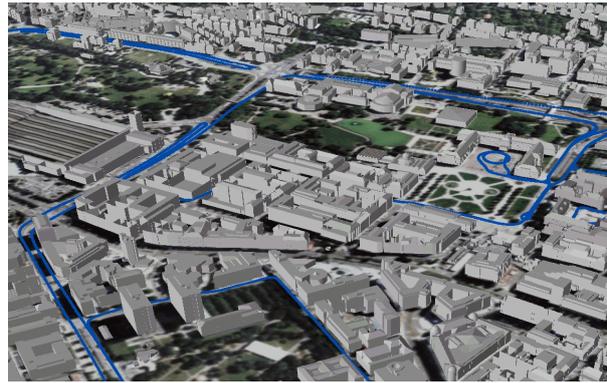


Abb. 5: Mobile Mapping Test Stuttgart –
a) Grundriss



b) Perspektive Ansicht der Trajektorien

Mittlerweile sind die Mobile Mapping Systeme auf LiDAR-Basis weiterentwickelt worden, die Scanraten haben sich erhöht und die Systeme wurden miniaturisiert. Weltweit gibt es vielleicht etwas mehr als 10 Systemanbieter, die nach wie vor einen schwierigen Markt vorfinden. Man kann sich leicht vorstellen, dass die resultierenden Punktwolken ein großes Datenvolumen produzieren – Volumina im GigaByte (GB) und TerraByte (TB)-Bereich sind keine Ausnahmen. Manuell werden Punktwolken genutzt, um daraus Messungen aller Art abzuleiten (Straßenbreiten, Position von Ampeln und Verkehrsschildern, Lichtraumprofile für Schwertransporte u.v.m). Jedoch wünscht sich der Anwender leistungsfähige Softwarepakete, die halb- oder vollautomatisch Geometrien der gewünschten Objektfeatures liefern – hier gibt es noch großen Nachholbedarf. Solange es auf dem Auswertesektor noch Defizite gibt, werden Mobile Mapping-Systeme nur eine spärliche Nachfrage antreffen.

Durch die Bereitstellung der dichten Bildzuordnung (Semi-Global Matching) (Hirschmueller, 2005), bei dem für jedes Pixel, welches ein und denselben Punkt in mehreren Bildern abbildet, ebenso Punkte einer Punktwolke im Objektraum berechnet werden können, ergeben sich neue Systemkonfigurationen. Diese als *Hybride* Mobile Mapping-Systeme gekennzeichneten Konfigurationen haben gleichzeitig Laser-Scanner und Kamerasysteme an Bord (siehe Abb. 6). Da die Laser-Scanner und die Kameras jeweils Punktwolken liefern, müssen diese ineinander gerechnet, d. h. fusioniert werden.



Abb. 6: Hybrides Mobile Mapping
a) Fa. Trimble © Trimble



b) Fa. NAVTEQ (Nokia/Microsoft)
© NAVTEQ

Die Verarbeitung von Stereo und Mehrfach-Stereo-Aufnahmen erfolgt Pixel für Pixel in einem ausgeklügelten Algorithmus (siehe Abb. 7). Das am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart entwickelte Softwarepaket SURE (SURface REconstruction from Imagery) nutzt eine etwas abgeänderte Version des Semi-Global Matching (Rothermel et al, 2012). Nach der Orientierung der Bilder, z.B. durch einen Kalman-Filter oder aber durch Verfahren des Computer Vision wie Structure-from-Motion (SfM) erfolgt ein Initialisierungsschritt, um die einander zuzuordnenden Bildpaare aufzubereiten. Die Bilder werden von Verzeichnungen und Abbildungsfehlern befreit, entzerrt und in eine Epipolarbildgeometrie umgerechnet. Danach erfolgt der Zuordnungsschritt, bei dem die Parallaxen/Disparitäten entlang der Stereobasis berechnet und mit diesen im sogenannten Triangulationsmodul durch Vorwärtsschnitt die Punkte der Punktwolke berechnet werden.

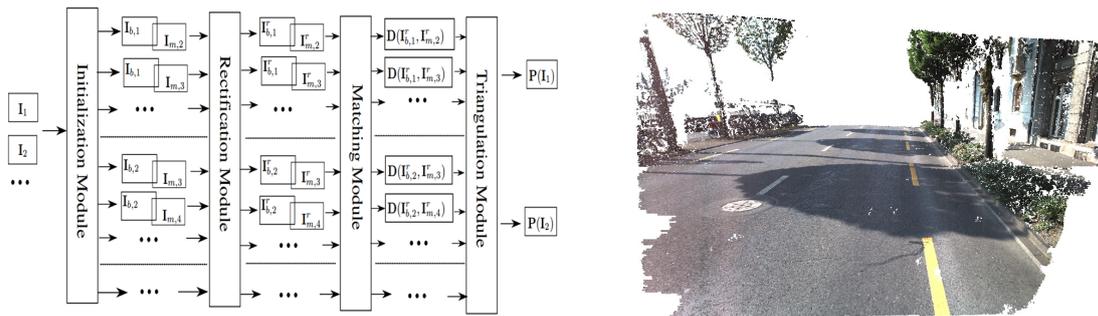


Abb. 7: a) Prozessierungsschritte bei dichter Bildzuordnung, am Beispiel von SURE

b) Colorierte Punktwolke aus Stereopaar, abgeleitet aus SURE

Um die beiden aus unterschiedlicher Sensorik erfassten Punktwolken miteinander zu fusionieren, werden gemeinsame Merkmale gesucht. Diese findet man an Kanten, Ecken oder Sprüngen im Objektraum. Es gibt mindestens drei Strategien für diese Fusion: Im 3D-Objektraum, im 3D-2D Objektraum und im 2D-Objektraum. Wählt man zum Beispiel den 3D-Objektraum für diese Transformation aus, sind die beiden Punktwolken durch eine räumliche Ähnlichkeitstransformation von mind. 7 Parametern aufeinander zu transformieren, welches typischerweise im Rahmen einer Ausgleichung/Parameterschätzung erfolgt, da es viele Überbestimmungen gibt.

Die jüngste Evolution bei den Mobile Mapping-Systemen nutzt ausschließlich Kamerasysteme an Bord. Neben den klassischen Dienstleistern in der Navigationsbranche (TomTom von Tele Atlas) sieht man auch die Fahrzeuge von Google mit Kameras bestückt auf der Straße, die in erster Linie Bilder für Google's StreetView aufnehmen. Auch diese Bilder müssen georeferenziert und in Panoramen umgerechnet werden, d.h. man benötigt die Position und Orientierung, damit man sie hinterher in Google Earth an der richtigen Stelle wiederfindet.



Abb. 8: Bildbasierte Mobile Mapping-Systeme
a) Tele Atlas © Tele Atlas



b) Google StreetView Sensorik
© Google

Der Einsatz eines bildbasierten Mobile Mapping-Systems wird in der Automobilindustrie schon seit ca. 20 Jahren vorangetrieben. Damit sollen einerseits Fahrerassistenzsysteme zur Verbesserung der aktiven Sicherheit durch automatisches Bremsen, und andererseits die Grundlagen für das autonome Fahren von Kraftfahrzeugen ab 2020 geschaffen werden. Die jüngsten Generationen der S-, E- und C-Klasse von Mercedes haben ein optionales Stereokamerasystem hinter dem Rückspiegel eingebaut, welches mit 30 Bildern pro Sekunde das Blickfeld des Fahrers permanent erfasst, die Punktwolken in Echtzeit an Bord auswertet und bei Gefahr dem Fahrer eine Notbremsung anbietet (Franke & Gehrig, 2013). Des Weiteren werden die Ergebnisse genutzt, um den Fahrkomfort durch ein Aktives Federungs- und Dämpfungssystem zu erhöhen – die mm-genaue Erfassung der vorausliegenden Fahrbahnoberfläche steuert eine entsprechende Sensorik. Das heißt, in diesem Bereich ist Mobile Mapping bereits im Alltag angekommen.

3. Mobile Mapping “auf der Schiene”

Um Erfahrungen mit Mobile Mapping auf der Schiene zu sammeln, wurde vom Verfasser gemeinsam mit der Fa. IGI mbH, Kreuztal den Stuttgarter Straßenbahnen ein Pilotprojekt vorgeschlagen. Dabei stand eine Datenerfassung oberirdisch als auch in Tunnel zur Diskussion, ebenso wie die Erfassung von Gebieten speziell im Bereich von Kreuzungstrassen der Trajektorien von Stuttgart21. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Mobile Mapping sollte das Messrauschen der Scans untersucht, eine gründliche Datenerfassung im Tunnel bereitgestellt, verschiedene Auswertoptionen gegenübergestellt und Visualisierungen aufbereitet werden. Insbesondere interessieren dabei die Kanten von Infrastrukturen wie z.B. der Bahnsteige, Kabelschächte, Schienenoberflächen und -profile sowie die exakte Positionierung der Fahrleitungsdrähte (s. Abb. 9).

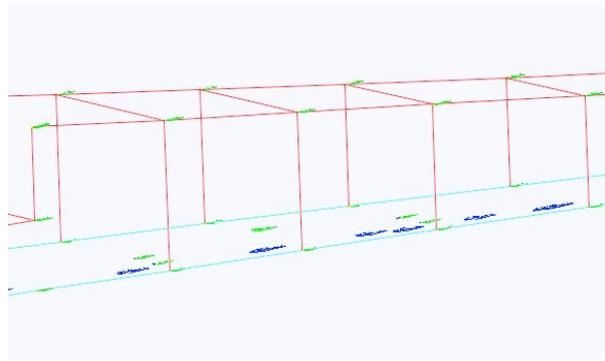
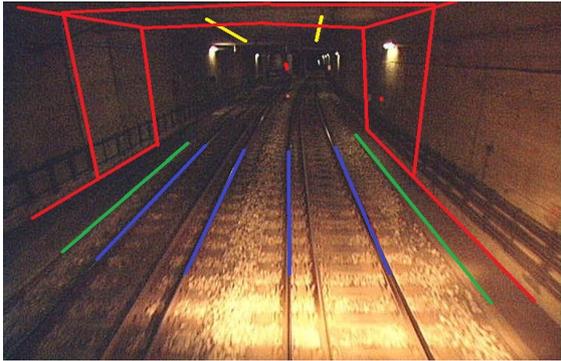


Abb. 9: Machbarkeitsstudie SSB
a) Perspektive

b) Vektordaten
© SSB

Eine erste Befahrung fand am 5. Juli 2013 zwischen 1.00 und 4.30 Uhr statt. Folgende Rahmenbedingungen waren dabei zu berücksichtigen: der reguläre Fahrbetrieb durfte nicht gestört werden sowie die zugelassene max. Geschwindigkeit sollte 60 km/h nicht überschreiten. Insgesamt sind mehr als 20 Schienenkilometer abgefahren worden, zumeist in Tunnel. Hin und wieder gab es Probleme mit der Stromzufuhr, die die Registrierung der DGPS/IMU-Daten erheblich störten – jedoch hat die hierfür zusammengestellte Systemkonfiguration funktioniert. Als Scanner wurden zwei Zoller & Fröhlich Laser-Profiler 2012 eingesetzt, die mit 100 Hz Abtastrate betrieben wurden. Deren max. Distanz liegt bei 119 m, die nicht überschritten werden darf, will man keine Mehrdeutigkeiten bei der Streckenmessung in Kauf nehmen. Die Scan-Hardware ist mit einem Messrauschen von 1,7 mm angegeben (auf max. 25 m Distanz). Zur Aufzeichnung von Videoströmen wurde eine GoPro Hero3 eingesetzt. Diese hat eine Auflösung von 1280x960 Pixel und erfasst 48 Bilder pro Sekunde. Die DGPS/IMU-Einheit war IGI's TERRA control, bestehend aus der IMU-lie 400 Hz eingebaut im Schutzgehäuse. Für die GPS/GLONASS Datenaufzeichnung stand die Antenne 702GG zur Verfügung, die noch durch Daten eines Odometers ergänzt wurde.



Abb. 10: SSB Mobile Mapping
– a) Scaneinheit

b) Video

c) DGPS/IMU-Komponenten

Die resultierenden Punktwolken werden zur Zeit im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart ausgewertet. Dabei zeigt sich, dass das Scanrauschen mit an ausgewählten Stellen abgeschätzten 2 mm innerhalb der Spezifikationen des Scanners/Profilers zu liegen kommt.

Der Systemaufbau wird mit der Abb. 11 dokumentiert. An der Stirnseite eines SSB-Baustellenfahrzeugs wurden die beiden Scanner und die Videokamera montiert – die GPS-Antenne ist auf dem Dach angebracht. Um die Messungen auszuwerten, ist eine präzise Bestimmung der Hebelarme zwischen den verschiedenen Komponenten erforderlich.



Abb. 11: SSB Mobile Mapping – a) Messeinheit
b) GPS-Antenne

c) Einmessung der Hebelarme
d) Ausschnittsvergrößerung Messeinheit

Erste Auswertergebnisse sind sehr vielversprechend. Zunächst werden die Punktwolken in zwei verschiedenen Auswerteprogrammen eingelesen (CARD/1, Leica Geosystem Cyclone) und manuell die gewünschten Vektorlinien der Infrastrukturen extrahiert. Dabei werden die Schienenprofile mit ihren Achsen erfasst, Oberleitungen detektiert und Lichtraumprofile aufgezeigt. Im Zuge einer weiteren Untersuchung ist daran gedacht, soviel als möglich halbautomatisch zu extrahieren. Als Strategie kann man sich folgendes vorstellen: der Operator startet einen automatischen Schienenverfolgungsalgorithmus, der darin besteht, dass die resultierenden x,y,z-Punkte entlang der Schienenprofile mittels approximierender Spline-Funktionen vektorisiert werden. Auf diese Weise lassen sich Schienenachsen automatisch rekonstruieren und entsprechen Längs- und Querprofile ebenso ableiten.

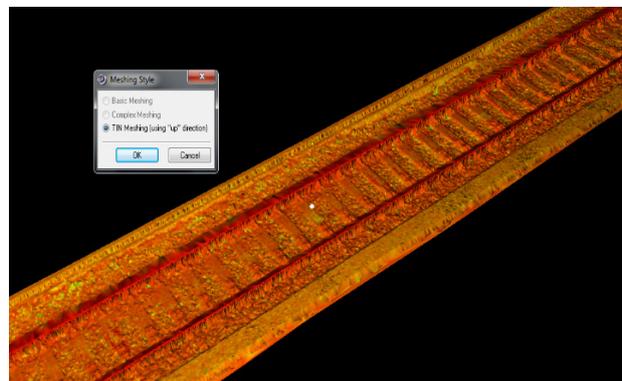
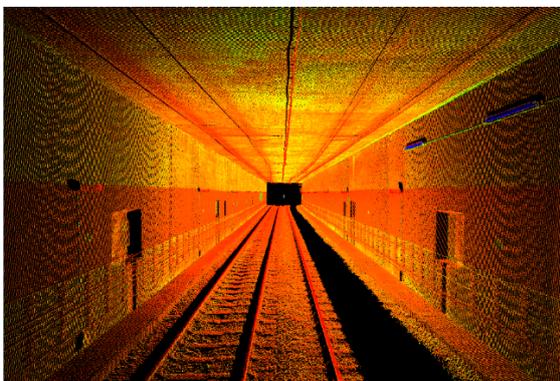


Abb. 12: a) Punktwolke, erfasst durch linken Scanner

b) Vermaschte Punktwolke im Schienenbereich

4. Schluss und Ausblick

Die in diesem Beitrag vorgestellten Mobile Mapping-Systeme stellen eine Revolution im Vermessungswesen, heute Geodäsie und Geoinformatik, dar. Die Punktwolken als vorläufiges Ergebnis haben zu einem Paradigmenwechsel bei der geodätischen Punktbestimmung geführt – vom Punkt zur Punktwolke. Die Positionierung und Orientierung der eingesetzten Sensorik erfolgt überwiegend durch eine GPS/IMU-Integration, indem durch ein sogenanntes Post Processing eine hochpräzise Festlegung der Bewegungstrajektorie möglich ist. Damit sind Punktgenauigkeiten von absolut besser als 3 cm zu erzielen, abhängig von der GPS-Satellitenkonfiguration. Die Datenerfassung ist einfach, schnell und effizient.

Leider ist das Mobile Mapping noch nicht im vermessungstechnischen Alltag angekommen. Die großen Punktwolken mit GB- und TB-Datenvolumina schrecken noch so manchen Anwender ab, sich ein solches System zu beschaffen bzw. einen Dienstleister mit der Datenerfassung zu beauftragen. Es fehlt an leistungsfähiger Software zur Punktwolkenbearbeitung, speziell hinsichtlich halb- und vollautomatischer Auswertungen. Doch dies ist hoffentlich nur eine Frage der Zeit – hier sind insbesondere die Universitäten mit ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gefordert.

Mobile Mapping kann dringende Aufgaben lösen. So ist eine vollständige Straßen- und Schieneninventur genauso möglich wie die Erfassung von Straßenmobiliar, welches für das autonome Fahren ab 2020 benötigt wird. Ferner können Oberleitungen, Lichtraumprofile für die Sicherheit auf Straße und Schiene und vieles mehr schnell und umfassend erfasst werden. Zusammenfassend trifft vielleicht folgender Satz die vielen Entwicklungen von Universitäten und Industrie: “Mobile Mapping hat gerade erst begonnen“.

Referenzen

- Carswell, A. I. (2011): Lidar Imagery – From Simple Snapshots to Mobile 3D Panoramas. In: Photogrammetric Week '11, Ed. D. Fritsch, Wichmann/VDE Verlag, Berlin & Offenbach, pp. 3-14.
- Franke, U., Gehrig, S. (2013): How Cars Learned to See. In: Photogrammetric Week '13, Ed. D. Fritsch, Wichmann/VDE Verlag, Berlin & Offenbach, pp. 3-10.
- Fritsch, D. (2013): Terrestrisches Laser-Scanning. Vorlesungsmanuskript Studiengang Geodäsie & Geoinformatik, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart (Videocasts veröffentlicht), www.ifp.uni-stuttgart.de/vorlesungen
- Haala, N., Peter, M., Kremer, J., Hunter, G. (2008): Mobile Lidar Mapping for 3D Point Cloud Collection in Urban Areas – A Performance Test. Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B5, Commission 5, ISPRS Congress 2008, Beijing, China, pp. 1119ff.
- Hirschmueller, H. (2005): Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2005, San Diego, CA, USA, Vol. 2, pp. 807-814.
- Kremer, J. Hunter, G. (2007): Performance of the StreetMapper Mobile LIDAR Mapping System in “Real World” Projects. In: Photogrammetric Week '07, Ed. D. Fritsch, Wichmann/Hüthig Verlag, Heidelberg, pp. 215-225.
- Rothermel, M., Wenzel, K., Fritsch, D., Haala, N. (2012): Surface Reconstruction from Imagery. Proceedings LC3D Workshop, Berlin, December 2012.