Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 111 (2013)

Heft: 4

Artikel: Mobile Mapping für die Planung einer neuen Tramlinie in Zürich

Autor: Wolf, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-323388

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mobile Mapping für die Planung einer neuen Tramlinie in Zürich

Das Tramnetz in der Stadt Zürich soll um eine Linie über die Hardbrücke und Rosengartenstrasse erweitert werden. Für eine Machbarkeitsstudie sind genaue dreidimensionale Grundlagendaten nötig, welche mittels eines Mobile Mapping Systems erfasst werden. Die innerstädtischen Verhältnisse einer stark befahrenen Verkehrsachse stellen dabei eine besondere Herausforderung dar.

Il est prévu d'élargir le réseau des tramways en ville de Zurich par une ligne via Hardbrücke et Rosengartenstrasse. Pour une étude de faisabilité il est nécessaire de disposer de données de base tridimensionnelles qui sont saisies à l'aide d'un Mobile Mapping System. Dans ce contexte les conditions d'une artère très fréquentée au centre-ville présentent un défi tout particulier.

La rete tramviaria della città di Zurigo va estesa di una linea che passa sulla Hardbrücke e dalla Rosengartenstrassse. Per uno studio di fattibilità sono necessari precisi dati tridimensionali, raccolti attraverso un sistema di Mobile Mapping. Una sfida particolare è costituita dal fatto che si tratta di un asse di transito fortemente trafficato, situato nel tessuto urbano.

R. Wolf

Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) bauen ihr Liniennetz in der Stadt Zürich laufend aus und passen sich den Anforderungen der Bevölkerung an. Zukünftig geplante Entwicklungen sind in der Studie «Das VBZ-Netz 2025» [1] festgehalten. Aufgrund dieser Studie soll das Tramliniennetz in mehreren Etappen erweitert werden. Die Etappen «Tram Zürich-West» und «Tram Hardbrücke» sind bereits in Betrieb bzw. projektiert, während für die nächste Etappe «Tramtangente Rosengarten» eine Machbarkeitsstudie erarbeitet wird. Diese Tramtangente verbindet Zürich-West und Zürich-Nord ohne Umweg über das Zentrum und soll das Netz in der Innenstadt entlasten.

Die Linie der neuen Tramtangente Rosengarten soll über die Hardbrücke, Rosengartenstrasse, Bucheggstrasse zum Bucheggplatz und weiter zum Milchbuck geführt werden (Abb. 1). Genau diese Strecke ist eine wichtige Hauptverkehrsachse für den motorisierten Verkehr und sorgt politisch für viel Zündstoff. Das hohe Verkehrsaufkommen steht dabei im Konflikt mit der geplanten neuen Tramlinie. Es gilt für alle Verkehrsträger und Anwohner eine verträgliche Lösung zu finden.

Stadt und Kanton Zürich haben eine Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, welche Lösungsansätze im Bereich der Tramtangente Rosengarten mit und ohne Waidhaldetunnel für den Autoverkehr auf Machbarkeit und Wirkung überprüfen und bewerten wird. Ziel sind gemeinsame Entscheidungsgrundlagen.

Der Vermessungsauftrag

Zur Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie «Rosengarten-Tram/Waidhaldetunnel» sind dreidimensionale Grundlagendaten des Strassenbereichs vom Bahnhof Hardbrücke bis zum Milchbuck nötig, wie in Abb. 1 als rote Linie dargestellt. Insbesondere der Wipkinger- und Bucheggplatz sind von grosser Bedeutung, da dort die geplanten Anschlüsse ans bestehende Strassen- und Tramnetz vorgesehen sind. Geomatik + Vermessung Stadt Zürich (GeoZ) wird angefragt, zu drei Varianten für die Erstellung eines Geländemodells mit jeweils unterschiedlichen Messmethoden Stellung zu nehmen. Es wird je eine Variante mittels tachymetrischer Aufnahme, terrestrischem Laserscanning und mobiler photogrammetrischer Erfassung (Mobile Mapping) analysiert. Schnell zeigt sich, dass unter den Randbedingungen des hohen Verkehrsaufkommens und des grossen Perimeters die photogrammetrische Variante (Mobile Mapping) zu bevorzugen ist, da diese effizienter und kostengünstiger ausgeführt werden kann. Eine mobile Messplattform hat zudem die Vorteile, den Verkehrsfluss nicht zu behindern und die Feldmessung beansprucht nur einen halben Tag. Aus diesen Gründen entscheidet sich die Arbeitsgruppe von Stadt und Kanton Zürich für die Mobile Mapping Variante.

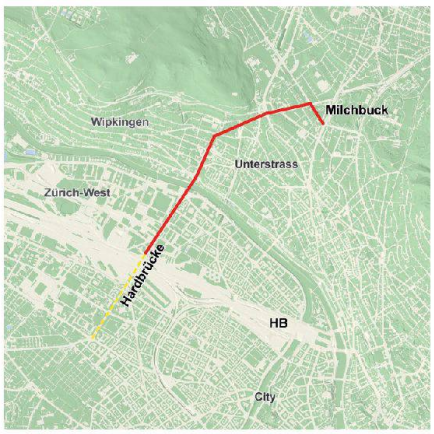

Abb. 1: Tramtangente Rosengarten (Quelle: GeoZ).

Das Vermessungssystem

Für die Datenerfassung kommt ein Stereobild-basiertes Mobile Mapping System zum Einsatz, wozu GeoZ die Firma iNovitas [2] als Subunternehmer beauftragt hat. Auf dem Fahrzeug in Abb. 2 sind drei

Abb. 2: Mobile Mapping Fahrzeug von iNovitas (Quelle: GeoZ).

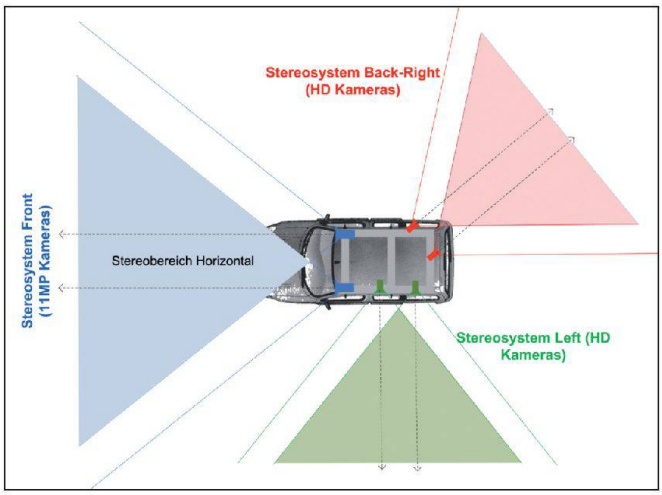

Abb. 3: Kameraaufnahmekonfiguration (Quelle: iNovitas).

Stereosysteme installiert, welche unterschiedliche Bereiche des Strassenraumes abdecken. Abb. 3 zeigt die Kamerakonfiguration, welche für die Befahrung gewählt wurde. Die Positionierung und Ausrichtung des Fahrzeugs wird mittels INS (Inertial Navigation System) gestützt durch GNSS (Globales Navigationssatellitensystem) sichergestellt. Aus diesen Navigationsdaten wird im Post-processing die so genannte Aufnahmetrajektorie (Positionierung und Ausrichtung der mobilen Trägerplattform im Raum) der Messfahrt berechnet. Auf diese Trajektorie werden alle Kameras referenziert und die Stereobildsequenzen für die Auswertung prozessiert. Die Genauigkeit dieser Navigationslösung hängt stark von der GNSS-Abdeckung ab. Bei längeren GNSS-Ausfällen, wie es in innerstädtischen Bereichen vorkommt, können jedoch bekannte Passpunkte integriert werden, um die geforderte Georeferenzierungsgenauigkeit zu gewährleisten. Mittels dieser integrierten Georeferenzierungsmethode werden auch in städtischen Strassenschluchten homologe Genauigkeiten im Zentimeterbereich erreicht.

Die Ausführung

Zu Beginn der Vermessungsarbeiten müssen die Höhen aller Lagefixpunkte im Projektperimeter per Nivellement bestimmt werden. Als Grundlage dient das Präzisions-Nivellement-Netz der Stadt Zürich. Danach werden über den gesamten Perimeter rund 300 Passpunkte tachymetrisch gemessen. Dabei werden insbesondere markante Punkte der Strassenmarkierung und Beschilderung gewählt (Abb. 4). Alle Passpunkte werden übersichtlich mit Fotos dokumentiert und ein Verzeichnis erstellt. Dieses wird später für die integrierte Georeferenzierung verwendet.

Die Stereobild-basierte Erfassung wird durch iNovitas an einem Sonntagvormittag durchgeführt, weil die Strecke Hardbrücke – Rosengartenstrasse werktags von bis zu 70 000 Fahrzeugen pro Tag befahren wird, was den Verkehrsfluss erheblich stören würde. Dabei ist innerhalb von rund zwei Stunden jede Fahrspur in beide Richtungen einmal befahren worden.

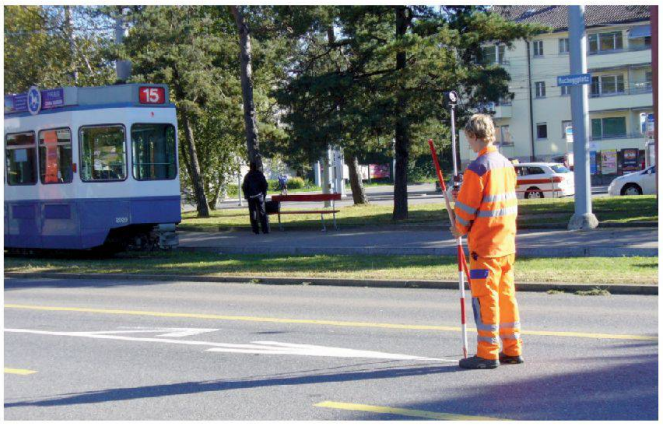

Abb. 4: Tachymetrische Passpunktbestimmung einer Strassenmarkierung (Quelle: GeoZ).

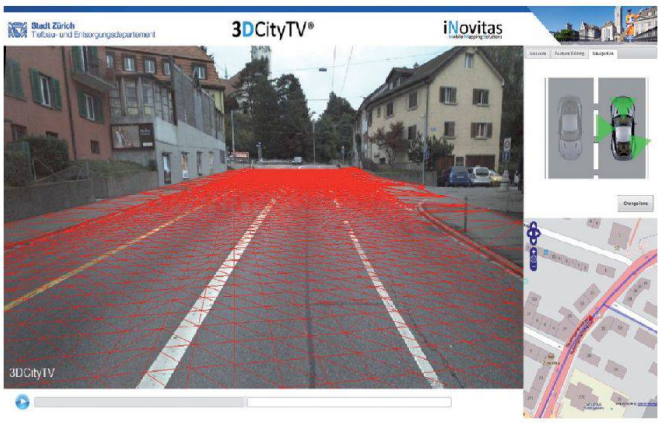

Abb. 5: 3DCityTV Web-Client überlagert mit dem Terrainmodell (Quelle: GeoZ).

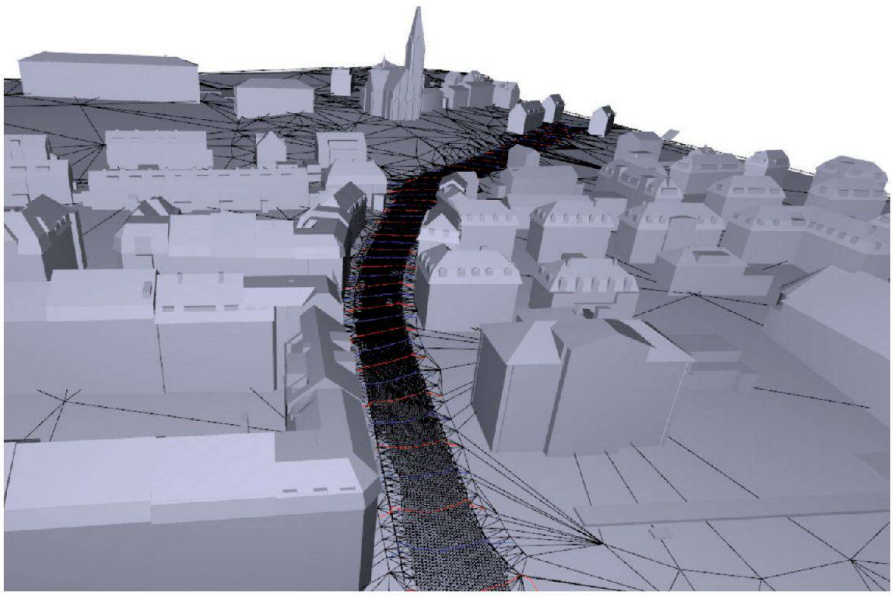

Abb. 6: Geländemodell kombiniert mit dem 3D-Stadtmodell (Quelle: GeoZ).

Die Firma iNovitas berechnet nun die Trajektorie der Messfahrt mittels integrierter Georeferenzierung und bereitet die Stereobildsequenzen auf. Für die einfachere Auswertung ohne 3D-Brille wird für jeden Pixel eines Stereobild-Paares ein Abstand berechnet (Dense Image Matching) und als Tiefeninformation abgespeichert. Damit kann aus einem einzelnen Bild und der hinterlegten Tiefeninformation eine 3D-Koordinate gemessen werden. Mit diesen Grundlagen wird ein projektspezifischer 3DCityTV-Service für die Auswertungsarbeiten aufgebaut (Abb. 5). Über einen Webzugriff kann auf alle georeferenzierten 3D-Bildsequenzen zugegriffen und die Bruchkanten können als Linienobjekte gemessen werden. Alle Objekte können direkt aus dem Web-Client als DXF exportiert werden und stehen so für die Berechnung des Höhenmodells zur Verfügung.

Aus den 3D-Bilddaten generierte iNovitas zusätzlich eine Farb-3D-Punktwolke. So entsteht eine dichte farbige Punktwolke, von welcher die Punkte im Strassenbereich gemittelt und ausgedünnt werden. Zusammen mit den Bruchkanten aus dem Web-Client wird ein Geländemodell gerechnet.

Dem projektierenden Ingenieur werden das Geländemodell sowie der 3DCityTV-Web-Client zur Verfügung gestellt, wie in Abb. 5 dargestellt. Dies dient als Grundlage für die Machbarkeitsstudie, wo beispielsweise die Steigung und die Strassenbreite für eine Tramlinie die entscheidenden Faktoren sind. Im Web-Client kann der Kunde jederzeit zusätzliche Objekte kartieren oder sich mit der Umgebung vertraut machen.

Das Ergebnis

Das Endprodukt dieser von GeoZ geleiteten Arbeiten ist ein genaues 3D-Modell des Strassenbereiches von rund 4 km Länge einer sehr stark befahrenen innerstädtischen Strecke inklusive der Verkehrsknoten Wipkingerplatz, Bucheggplatz und Milchbuck. Das 3D-Modell besteht aus der Dreiecksvermaschung und den Bruchkanten. Ebenso ist das Bildmaterial für alle Projektbeteiligten per Webbrowser zugänglich. So können die Vermessungsdaten auch ohne spezielle Software visualisiert werden. Abb. 6 zeigt eine Kombination des Geländemodells mit dem 3D-Stadtmodell von GeoZ.

Die Genauigkeit

Die absolute Genauigkeit der Fahrtrajektorie eines Mobile Mapping Systems zum übergeordneten Koordinatensystem ist das entscheidende Kriterium für ein digitales Geländemodell. Diese absolute Genauigkeit ist abhängig von der eingesetzten INS/GNSS-Sensorik, der Satellitenkonstellation und -Sichtbarkeit. Diese ist insbesondere in urbanen Regionen eingeschränkt, was bei GNSS-Abschattungen und -Ausfällen zu einer ungenaueren Trajektorie führt.

Die Trajektorie wird zuerst nur mittels der INS/GNSS-Messungen berechnet. Um die absolute Genauigkeit der direkten Georeferenzierung zu überprüfen, müssen im übergeordneten Koordinatensystem bekannte Kontrollpunkte in den Bildsequenzen gemessen werden. Die Standardabweichungen der Koordinaten-Differenzen aus direkter Georeferenzierung sind in Tab. 1 aufgelistet.

Resultat aus Direkter Georeferenzierung (INS + GNSS):	Y	X	H
Passpunkt Residuen (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.069	0.081	0.083
Mittel Residuen Lage (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.106		
Mittel Residuen 3D (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.135		
Resultat aus Integrierter Georeferenzierung (INS + Bildbeobachtungen aus Passpunkte):	**Y**	**X**	**H**
Passpunkt Residuen (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.029	0.025	0.012
Mittel Residuen Lage (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.038		
Mittel Residuen 3D (Standardabweichung 1 σ, [m])	0.040		

Tab. 1: Genauigkeiten der Georeferenzierung in LV03/LN02.

In urbanen Regionen steigen die Anforderungen an die Genauigkeit, jedoch auch die GNSS-Abschattungen und -Ausfälle. Daher ist die direkte Georeferenzierung zu ungenau und erfordert die integrierte Georeferenzierung. Bei dieser werden die Abweichungen der Passpunkte aus der direkten Georeferenzierung berücksichtigt und als Update beim Kalman-Filter bei der Berechnung der Trajektorie integriert. Somit wird die Trajektorie bei der integrierten Georeferenzierung aus den INS/GNSS-Messungen und den Passpunkten berechnet. Die Standardabweichungen der Koordinaten-Differenzen der Passpunkte dieser mittels integrierter Georeferenzierung berechneten Trajektorie sind ebenfalls in Tab. 1 ersichtlich.

Die integrierte Georeferenzierung bringt eine markante Steigerung der absoluten 3D-Genauigkeit von 13.5 cm auf 4 cm. Die Höhengenauigkeit verbessert sich von 8.3 cm auf 1.2 cm. Das aus diesen Daten abgeleitete digitale Geländemodell besitzt demnach eine Höhengenauigkeit von rund 1.5 cm.

Fazit

Die Nachfrage nach genauen 3D-Daten steigt stetig. Für die Projektierung von Infrastrukturprojekten in urbanen Regionen fehlen diese 3D-Grundlagendaten in der erforderlichen Genauigkeit meistens. Die Datenerfassung stellt eine Herausforderung dar, da die wichtigen Infrastrukturanlagen rund um die Uhr in Betrieb sind. Mobile Mapping Lösungen stören den Verkehrsfluss nur minimal und erlauben eine schnelle und grossflächige Datenerfassung. Für die Einpassung ins lokale Koordinatensystem und zur Verbesserung der Genauigkeit in urbanen Regionen lohnt sich der höhere Aufwand für die integrierte Georeferenzierung mittels Passpunkten.

Das Ergebnis einer stereobild-basierten Mobile Mapping Lösung ist ein hochwertiger 3D-Datensatz, welcher per Web-Zugriff für alle Projektbeteiligten zur Verfügung steht. Damit sind jederzeit virtuelle Begehungen und einfache Auswertungen möglich. Die Bildsequenzen sind für das menschliche Auge viel besser interpretierbar als beispielsweise Punktwolken-Datensätze, und es lässt sich bei Bedarf sogar eine dichte Farb-Punktwolke erzeugen.

GeoZ hat erstmals ein Mobile Mapping System für die Studie Rosengarten-Tram/Waidhaldetunnel eingesetzt. Dafür spricht insbesondere die Wirtschaftlichkeit, welche im Vergleich zu konventionellen Messmethoden viel besser ist. Je grösser der Perimeter, desto wirtschaftlicher ist die Mobile Mapping Methode. In Zukunft werden Mobile Mapping Systeme sicher eine entscheidende Rolle bei der Erfassung von 3D-Daten spielen, vor allem in dicht besiedelten urbanen Gebieten.

Weiterführende Informationen:

[1] Lebensqualität auf der ganzen Linie: Das VBZ-Netz 2025
www.vbz.ch > Die VBZ > Unternehmensentwicklung

[2] www.inovitas.ch

Roman Wolf
Stadt Zürich
Geomatik + Vermessung
Weberstrasse 5
CH-8004 Zürich
roman.wolf@zuerich.ch