

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: 9

Artikel: Integrierte Georeferenzierung von luft- und bodengestützten
Stereobilddaten im Strassenbereich : Strategien und Ergebnisse

Autor: Kamer, K. / Eugster, H. / Nebiker, St.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-346987>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

Integrierte Georeferenzierung von luft- und bodengestützten Stereobilddaten im Strassenbereich – Strategien und Ergebnisse

Der Unterhalt sowie das Erhaltungsmanagement im Strassenbereich setzen heute eine aktuelle und hochaufgelöste Geodatengrundlage voraus. Dabei ist die Kombination von mobil erfassten Stereobilddaten und hochaufgelösten Luftbilddaten zur effizienten Gewinnung dieser Datengrundlage besonders vielversprechend. Dieser Beitrag zeigt Lösungsansätze und Testresultate zur genauen Co-Registrierung dieser Datensätze und zur kombinierten Nutzung. Entscheidend für eine ausreichende Registrierungsgenauigkeit und die problemlose gemeinsame Nutzung ist die korrekte Lagerung beider Datensätze im selben Bezugsrahmen. Vielfach ist gerade die Lagerung der mobil erfassten Stereobilddaten durch systematische Fehler, verursacht durch GNSS-Signalabschattung während der Aufnahmefahrt, verfälscht. Der beschriebene integrierte Sensororientierungsansatz ermöglicht einerseits die korrekte Registrierung der Luftbilder sowie der mobil erfassten Stereobilddaten auf einen vorgegebenen gemeinsamen Referenzrahmen oder andererseits die Einpassung der mobil erfassten Stereobilddaten in den durch die Luftbilddaten vorgegebenen Bezugsrahmen.

L'entretien et la gestion du maintien des ouvrages routiers requièrent aujourd'hui une base actuelle à haute définition des géodonnées. Dans ce contexte la combinaison de données d'images stéréo saisies de façon mobile et de données de photos aériennes haute résolution aux fins d'acquisition de cette base de données se révèle particulièrement prometteuse. Cet article décrit des solutions possibles et des résultats de tests concernant le co-enregistrement de ces blocs de données et de leur utilisation combinée. Pour une précision d'enregistrement suffisante et l'utilisation commune sans problème il importe de stocker correctement dans le même cadre de référence ces deux blocs de données. Souvent justement le stockage des données d'images stéréo saisies de façon mobile est faussé par des erreurs systématiques dues à l'extinction du signal GNSS pendant le trajet. L'approche intégrée décrite de l'orientation des capteurs permet d'une part l'enregistrement correct des photos aériennes ainsi que des données d'images stéréo saisies de façon mobile dans un cadre de référence commun défini ou d'autre part l'intégration des données d'images stéréo saisies de façon mobile dans le cadre de référence défini par les données de photos aériennes.

Oggi la manutenzione e la gestione della conservazione del campo stradale presuppongono una base di dati geografici aggiornata e ad alta risoluzione. Al riguardo, risulta essere estremamente promettente la combinazione di dati di fotografie stereoscopiche a rilevazione mobile e di i dati di fotografie aeree ad alta risoluzione. In questo articolo si presentano degli approcci di soluzione e i risultati dei test per una co-registrazione precisa e un uso combinato. Per raggiungere una precisione di registrazione sufficiente e consentire un uso comune senza problemi è determinante stoccare correttamente ambedue i record di dati nello stesso quadro di riferimento. Spesso proprio lo stoccaggio dei dati delle fotografie stereoscopiche a rilevazione mobile ricavate è distorto da errori sistematici, provocati dalla schermatura del segnale GNSS durante il volo di ripresa. L'approccio integrato dell'orientamento del sensore qui descritto consente, da una parte, che ci sia una corretta registrazione delle fotografie aeree nonché che i dati delle fotografie stereoscopiche a rilevazione mobile siano in un quadro di riferimento comune predefinito, oppure, dall'altra parte, che l'adeguamento dei dati delle fotografie stereoscopiche a rilevazione mobile siano nel quadro di riferimento prescritto per i dati delle riprese aeree.

K. Kamer, H. Eugster, St. Nebiker

1. Einleitung

Modernes Infrastrukturmanagement im Strassen- und Schienenbereich erfordert genaue, zuverlässige und aktuelle dreidimensionale Geodaten. Aus Gründen der Effizienz und Sicherheit werden diese Daten zunehmend mit mobilen Plattformen und Geosensoren am Boden sowie aus der Luft erfasst. Insbesondere Bilder sind dank ihrer riesigen Informationsfülle und den Fortschritten im Bereich des dichten Stereobildmatchings in den letzten Jahren zu einer idealen Basis für die Erzeugung einer hochaufgelösten 3D-Geodatenbasis für das Asset Management geworden. Die Kombination von fahrzeuggestützten Stereobilddaten und Luftbildern ermöglicht zudem eine komplementäre Sicht auf den Verkehrskorridor, u.a. zur Erfassung von Geobjekten ausserhalb des direkt einsehbaren Fahrbahnbereichs. Die kombinierte Nutzung von boden- und luftgestützten 3D-Bilddaten erfordert jedoch eine exakte Co-Registrierung beider Bilddatensätze. In diesem Beitrag werden Ansätze diskutiert, welche die exakte Co-Registrierung beider Datensätze ermöglichen. Erschwert wird dieser Co-Registrierungsprozess im urbanen Raum, wo gerade in Häuserschluchten, auf Grund der oft stark eingeschränkten Satellitenabdeckung, die direkte Georeferenzierungsgenauigkeit mobiler Sensoraufnahmeplattformen stark reduziert und systematisch verfälscht wird. Der vorgestellte integrierte Sensororientierungsansatz ermöglicht die



Abb. 1: IVGI Mobile Mapping System.



Abb. 2: Mittelformat-Luftbildkamerasysteme Leica RCD30.

gleichzeitige Behandlung beider Problemstellungen und bleibt offen in der Wahl des Bezugsrahmens. Abschliessend werden die vorgestellten Verfahren mit Hilfe realer Testdaten einander gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit beurteilt.

2. Übersicht Erfassungs- und Auswertesysteme

2.1 Bodengestützte Bilddaten: Stereovision Mobile Mapping

Für die Untersuchungen wurde das stereobildbasierte Mobile Mapping System (MMS) des Instituts Vermessung und Geoinformation (IVGI) eingesetzt (vgl. Abb. 1). Das System besteht aus einem INS/GNSS-Navigationssystem (zum Zeitpunkt der Untersuchungen einem Applanix POS LV 210), welches zur direkten Georeferenzierung von bis zu fünf Stereo-Kamerasystemen genutzt wird. Als Bildsensoren kommen zwei Industrie-Kameras mit 11 MP, welche in Fahrtrichtung betrieben werden, sowie zwei 2 MP (FullHD) mit einer radiometrischen Auflösung von 12 Bits zum Einsatz. Die Stereokameras können in unterschiedlichen Konfigurationen (Stereobasen, Blickrichtungen) auf der mobilen Trägerplattform montiert werden.

Für die Prozessierung und Nutzung der Stereobilddaten wurde im Rahmen des Forschungsprojekts SmartMobileMapping eine umfangreiche Prozessierungspipeline entwickelt und umgesetzt (Nebiker & Eugster, 2013). Diese umfasst die folgenden Teilprozesse: Systemkalibrierung

mit spezifischen Verfahren für Multi-Stereokonfigurationen; direkte oder integrierte Sensororientierung der Stereobildsequenzen (Eugster et al., 2012); Stereobilddatenaufbereitung (Burkhard et al., 2012); 3D-Bildgenerierung mittels Dense Stereo Matching auf Basis der OpenCV-Programmbibliothek sowie die Aufbereitung einer über das Web verteilbaren 3D-Bilddatenbasis. Die dazu entwickelte WebSDK (Programmwerkzeugkasten) ermöglicht die Nutzung dieser Daten mittels 3D-Monoplotting in einer Web-Applikationen oder integriert aus einer Drittapplikation.

2.2 Luftbilddaten:

Leica RCD30

Die Luftbilddaten für die Untersuchungen wurden mit einer Mittelformatkamera Leica RCD30 erfasst (Abb. 2). Die RCD30 weist vier exakt co-registrierte Spektralkanäle (R,G,B und NIR) auf, welche durch ein gemeinsames Objektiv erfasst und durch einen dichroitischen Strahlteiler auf zwei Flächensensoren aufgezeichnet werden. Die Prozessierung der RCD30-Bilddaten umfasst im Wesentlichen die folgenden Hauptschritte: die Sensorkalibrierung – wahlweise mittels Kalibrierflug und Bündelausgleichung oder mittels Laborkalibrierung; die Generierung von verzerrungsfreien Multispektralbildern mittels Leica FramePro; eine direkte oder integrierte Georeferenzierung sowie die Extraktion dichter Tiefenkarten bzw. 3D-Punktwolken mittels XPro DSM. Letztere basiert auf einer Weiterentwicklung bzw. Adaptierung des Semi-Global Matching-Ansatz von (Hirschmüller, 2008).

3. Georeferenzierungsstrategien

3.1 Integrierte Sensororientierung (ISO)

Die integrierte Orientierung der fahrzeuggestützten Aufnahmetrajektorie ermöglicht einerseits die Korrektur von systematischen Fehlern der direkt georeferenzierten Trajektorie (DSO) aufgrund auftretender GNSS-Signalabschattungen während der Messfahrt und andererseits die sehr genaue Einpassung der mobil erfassten Daten in einen vorgegebenen geodätischen Bezugsrahmen. Für die Durchführung einer integrierten Sensororientierung werden in einem ersten Schritt mit Hilfe eines Multi-Image-Matchings (Huber et al., 2011) wie in Abbildung 3 gezeigt die Koordinaten bekannter Passpunkte aus der direkt georeferenzierten Stereobild-Sequenz bestimmt. Aus der daraus resultierenden Passpunktdifferenz lassen sich für die betroffenen Stereoaufnahmezeitpunkte vom GNSS unabhängige Koordinatenupdates berechnen. Im nachfolgenden zweiten Schritt wird nun die Aufnahmetrajektorie aus den zur Verfügung stehenden Beobachtungen aus INS, GNSS und den zusätzlichen unabhängig bestimmten Koordinatenupdates mit Hilfe einer wiederholten Kalman-Filter basierten Sensordatenfusion neu berechnet.

3.2 Co-Registrierungsansätze

Zur Georeferenzierung bzw. Co-Registrierung der luftgestützten und terrestri-

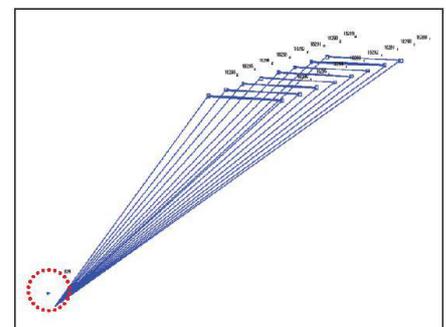


Abb. 3: Prinzip Koordinaten-Update mittels Multi-Image-Matching (Referenz-Passpunktcoordinate in gestricheltem Kreis).

schon Bilddaten wurden folgende zwei Ansätze entworfen und untersucht:

A) Integrierte Georeferenzierung der bodengestützten Stereobilddaten auf den Luftbildblock. Als Stützpunkte dienen dabei ausgewählte natürliche Punkte, die in beiden Bilddatensätzen sichtbar sind. Die 3D-Stützpunktkoordinaten werden dabei aus dem Luftbildblock bestimmt und anschliessend für eine integrierte Sensororientierung der bodengestützten Bilddaten verwendet.

B) Unabhängige indirekte und integrierte Sensororientierung der luft- bzw. bodengestützten Bilddaten auf einen gemeinsamen bspw. terrestrisch eingemessenen Bezugsrahmen.

4. Testprojekt und Datenerfassung

4.1 Untersuchungsgebiet und Referenzdaten

Die Untersuchungen zur integrierten Georeferenzierung von luft- und bodengestützten Stereobilddaten erfolgten am Beispiel eines Abschnitts der Autobahn A1 auf einer Länge von 2 km in einem urbanen Umfeld am westlichen Rand von Zürich. Der als Referenzdatensatz dienende Bezugsrahmen wurde terrestrisch

Genauigkeit Passpunkte für...	Standardabweichung [cm]	
	Lage	Höhe
Passpunkte Gruppe Δ	0.5 bis 1.0	1.5
Passpunkte Gruppe O	4.0	2.0–3.0

Tab. 1: Genauigkeit terrestrisch eingemessener Referenzrahmen.

mittels GNSS-RTK-Vermessung und Tachymetrie eingemessen. Die Passpunkte für die indirekte Georeferenzierung der Luftbilder (Punkte Δ in Abb. 4) konnten optimal im Untersuchungsgebiet verteilt und mittels GNSS-RTK doppelt bestimmt werden. Die Bestimmung der Passpunkte im Fahrbahnbereich (Punkte O in Abb. 4) erfolgte mittels reflektorloser Tachymetrie und GNSS-Anschlussmessungen und gestaltete sich schwieriger, da für die Aufnahmen die Fahrbahn nicht betreten werden konnte. Der realisierte Referenzrahmen lässt sich mit folgender Genauigkeit spezifizieren (Kamer, 2012) (Tab. 1).

4.2 Bodengestützte Bilddatenerfassung und -aufbereitung

Die bodengestützte Bilddatenerfassung in beide Fahrtrichtungen erfolgte am 24. September 2011 mit dem eingangs beschriebenen Mobile Mapping System des

IVGI. Bei einer Bilddatenrate von 5 fps und einer Messgeschwindigkeit von ca. 80 km/h resultierte eine Bilddatendichte von einem Stereoframe pro 5–6 m.

4.3 Luftgestützte Bilddatenerfassung

Derselbe Autobahnabschnitt wurde nur vier Tage später am 28. Sept. 2011 mit einer Leica RCD30-Kamera auf einem Pilatus Porter PC-6 befliegen. Die Befliegung erfolgte mit einem Objektiv mit einer Brennweite von 53 mm auf einer Flughöhe von 400 m und mit einer Längs-Überdeckung von 80%. Die durchschnittliche Bodenauflösung der RGBN-Bilddaten beträgt 5 cm. Die Bilddaten wurden vorgängig mit Leica FramePro und Leica IPAS TC prozessiert und direkt georeferenziert. Im Anschluss wurde der Bildblock mittels Bündelblockausgleichung in ORIMA unter Verwendung der oben aufgeführten Passpunkte definitiv indirekt georeferenziert. Die empirische Standardabweichung

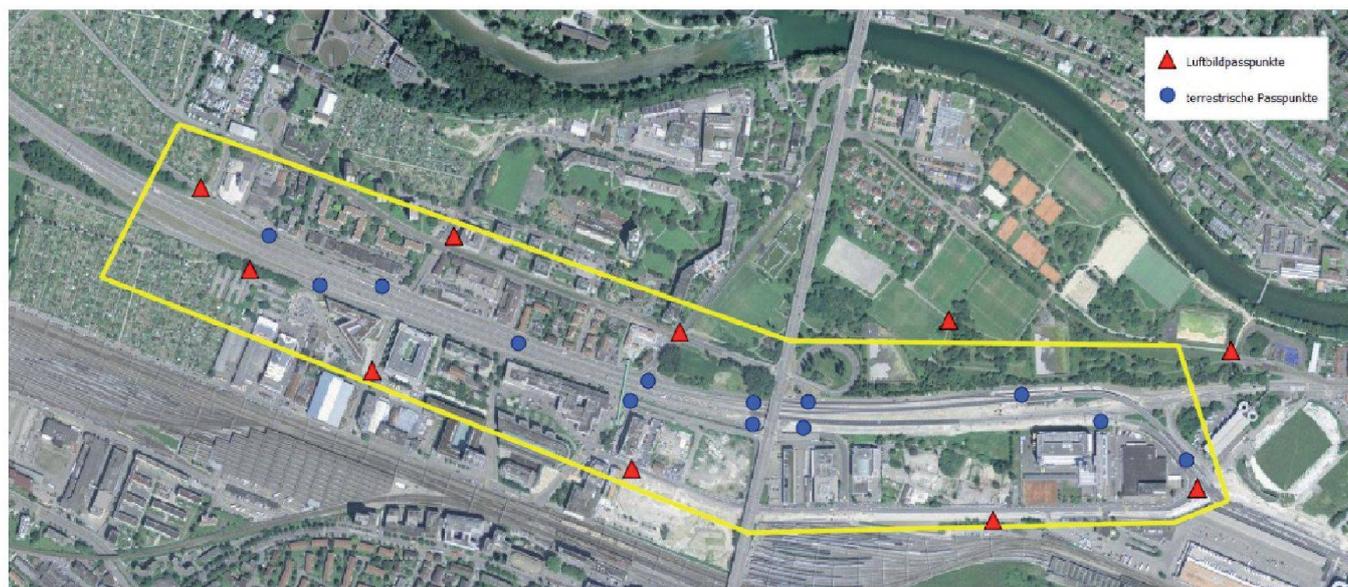


Abb. 4: Untersuchungsgebiet entlang der Autobahn A1 am Westrand Zürichs (Perimeter: gelbe ausgezogene Linie; Δ Passpunkte Luftbilder; O Passpunkte MMS-Bilddaten) (Orthophoto © swisstopo).

Genauigkeit der DSO MMS-Lösung aus Vergleich mit...	Mittelwert [cm]			Standardabweichung [cm]		
	ΔX	ΔY	ΔZ	X	Y	Z
A) Kontrollpunkten aus Luftbildern	7.9	-8.2	5.2	11.1	8.3	5.6
B) terrestrisch best. Kontrollpunkten	8.1	-3.8	5.8	10.4	4.1	4.1

Tab. 2: Genauigkeit der direkt georeferenzierten (DSO) MMS-Daten.

Genauigkeit der ISO MMS-Lösung mit...	Mittelwert [cm]			Standardabweichung [cm]		
	ΔX	ΔY	ΔZ	X	Y	Z
A) Passpunkten aus Luftbildblock	0.0	-2.5	-1.1	4.8	4.5	7.6
B) terrestrisch best. Passpunkten	-1.9	-2.4	0.0	5.4	4.4	1.7

Tab. 3: Genauigkeit der integriert georeferenzierten (ISO) MMS-Daten.

chung aus der Bündelblockausgleichung in den Passpunkten beträgt 2.3 cm in X, 1.8 cm in Y und 3.4 cm in Z (Höhe).

5. Untersuchungen und Ergebnisse

5.1 Genauigkeit der direkt georeferenzierten MMS-Daten

Vorgängig zur Untersuchung der Co-Registrierungsansätze wurde die Genauigkeit der direkt georeferenzierten Trajektorie bzw. der darauf aufbauenden Stereobildaten untersucht. Dazu wurden mit dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Verfahren die resultierenden Differenzen

in den Passpunkten bestimmt. Einerseits dienten dazu im Fall A die aus dem Luftbildblock bestimmten Stützpunkte als Passpunkte und im Fall B der terrestrisch bestimmte Referenzrahmen.

Die Resultate in Tabelle 2 zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den zwei unabhängigen Vergleichen (Passpunkte Luftbild und terrestrisch) sowohl bezüglich systematischer als auch zufälliger Anteile, welche auch in Abb. 5 und Abb. 6 gut zu erkennen sind. Die direkt georeferenzierte Trajektorie weist somit einen systematischen Fehler von ca. 10 cm in der Lage und 5.5 cm in der Höhe gegenüber den beiden realisierten Referenzrahmen auf.

5.2 Genauigkeit der integriert georeferenzierten MMS-Daten

In der Folge wurde die MMS-Trajektorie und damit auch die absolute Orientierung der Stereobildaten mittels der in Kapitel 3 eingeführten integrierten Sensororientierung neu geschätzt und damit zu den Luftbilddaten co-registriert. Die Tabelle 3 zeigt die resultierenden Co-Registrierungsgenauigkeiten in den verwendeten Passpunkten für beide untersuchten Ansätze.

Eine grafische Darstellung der lage- und höhenmässigen Koordinatendifferenzen zeigen die Abbildungen 7 und 8.

Die Resultate zeigen eine deutlich gesteigerte Co-Registrierungsgenauigkeit der beiden Datensätze gegenüber der direkt georeferenzierten Aufnahmetrajektorie. Der nachgewiesene systematische Fehleranteil konnte im vorliegenden Fall um einen Faktor 4 reduziert und damit weitestgehend eliminiert werden. Die erreichbare Co-Registrierungsgenauigkeit hängt im Wesentlichen von der Qualität des zugrunde gelegten Bezugsrahmens ab. Diese Tatsache ist sehr schön zu erkennen, dass die Höhengenaugigkeit für den Ansatz A) mit ca. 8 cm im Vergleich zu Ansatz B) mit 1.7 cm um einen Faktor 4 schlechter ist, da die Genauigkeit der Höhenkomponente der verwendeten Stützpunkte im Fall A) ebenfalls in diesem Genauigkeitsbereich liegt. Der Verbleib einiger grösserer Lage-Restklaffen im An-

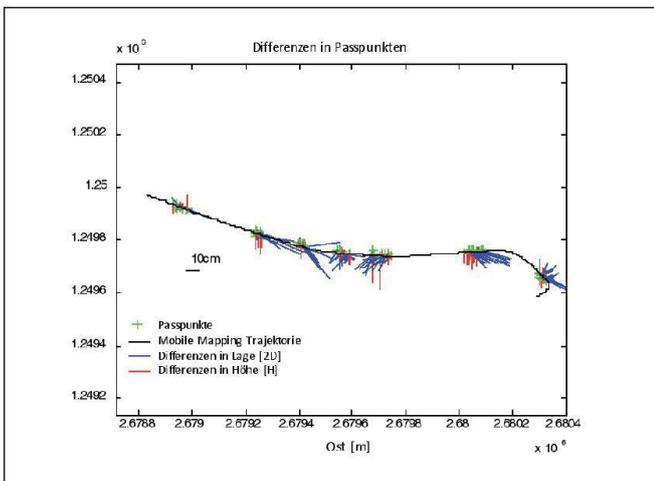


Abb. 5: Vergleich der DSO MMS-Lösung mit Passpunkten aus Luftbildern.

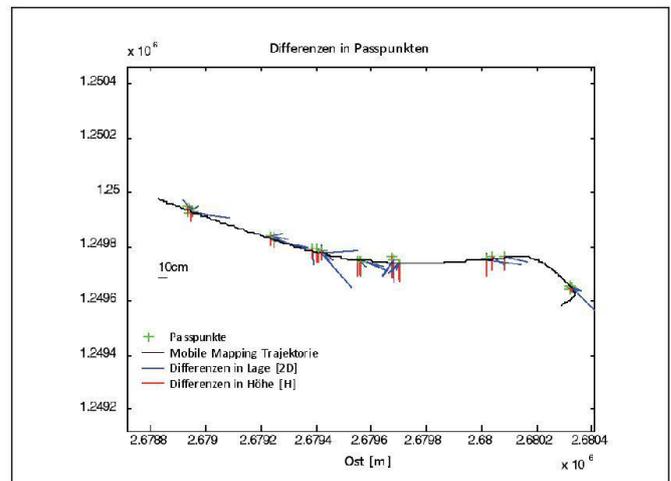


Abb. 6: Vergleich der DSO MMS-Lösung mit terrestrisch bestimmten Passpunkten.

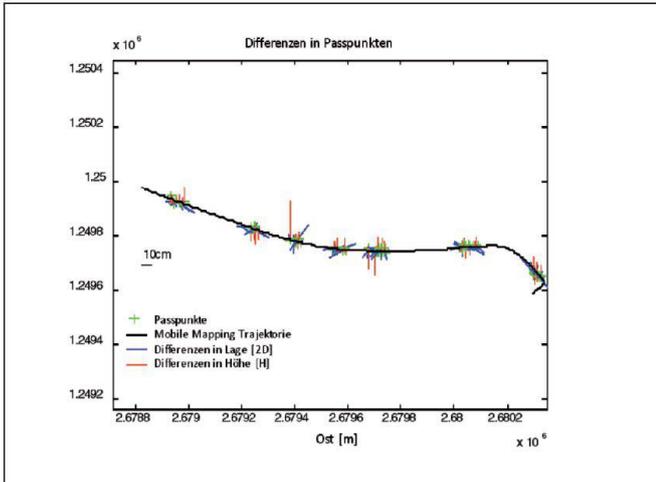


Abb. 7: Restklaffen der ISO in den Passpunkten aus den Luftbildern (Fall A).

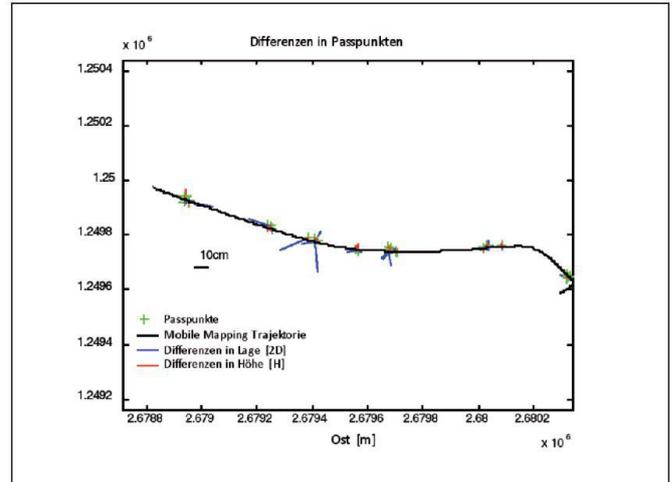


Abb. 8: Restklaffen der ISO in den terrestrisch best. Passpunkten (Fall B).

satz B) kann mit suboptimal bestimmten terrestrischen Passpunkten im Fahrbahnbereich erklärt werden.

6. Fazit

Die in diesem Beitrag vorgestellte integrierte Sensororientierung (ISO) von fahrzeuggestützt aufgenommenen Stereobildsequenzen ermöglicht einerseits die genaue Einpassung in einen vorgegebenen Bezugsrahmen und andererseits die Korrektur eines systematischen Fehleranteils verursacht durch GNSS-Signalabschattungen bspw. in Strassenschluchten. Das Verfahren kann sehr gut eingesetzt werden, um einerseits mobil erfasste Stereobildsequenzen auf hochaufgelöste Luftbilddaten zu registrieren oder andererseits beide Datensätze auf einen vorgegebenen

Bezugsrahmen einzupassen. Falls die angestrebte Höhengenaugigkeit mit einer indirekten Sensororientierung der Luftbilddaten realisiert werden kann, empfiehlt sich die Registrierung der bodengestützten Stereobildsequenzen auf Passpunkte aus dem Luftbildblock, da mit dieser Strategie auf kostspielige Sperrmassnahmen zur Bestimmung von terrestrischen Passpunkten im Fahrbahnbereich verzichtet werden kann.

Der Nutzen der komplementären Perspektiven der vorliegenden Co-Registrierten boden- und luftgestützten Bildaufnahmen für diverse Nutzungsmöglichkeiten im Asset-Management von Korridorinfrastrukturen wird durch die Abbildungen 9 und 10 aufgezeigt, die einen lage-identischen Ausschnitt derselben Brücke zeigen.

Literatur:

Burkhard, J., Cavegn, S., Barmettler, A., & Nebiker, S., 2012. Stereovision mobile mapping: system design and performance evaluation. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B5, 453–458.

Eugster, H., Huber, F., Nebiker, S., & Gisi, A., 2012. Integrated georeferencing of stereo image sequences captured with a stereovision mobile mapping system – approaches and practical results. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1, 309–314.

Hirschmüller, H., 2008. Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30, 328–341.

Huber, F., Nebiker, S., & Eugster, H., 2011. Image Sequence Processing in Stereovision Mobi-



Abb. 9: Autobahnbrücke aus Perspektive MMS.



Abb. 10: Identische Situation in Luftbilddaten (Aufnahmegeom. MMS: Dreieck Bildrand unten).

le Mapping – Steps towards Robust and Accurate Monoscopic 3D Measurements and Image-Based Georeferencing. In U. Stilla, F. Rottensteiner, H. Mayer, B. Jutzi, & M. Bute-nuth (Eds.), Photogrammetric Image Analysis (Vol. 6952, pp. 85–95). Springer Berlin / Hei-delberg.

Kamer, K., 2012. Untersuchungen zur Inte-gration von mobil erfassten terrestrischen Ste-

reobildaten und Luftbilddaten. Bachelor The-sis. FHNW University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.

Nebiker, S. & Eugster, H. 2013. 3DCityTV – Cloud-basierte Stereovision Mobile Mapping Services. In K. Hanke & T. Weinold, eds. 17. In-ternationale Geodätische Woche Obergurgl 2013. Obergurgl, Ötztal: Wichmann, pp. 144–153.

Stephan Nebiker
Hannes Eugster
Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut Vermessung und Geoinformation
CH-4132 Muttenz
stephan.nebiker@fhnw.ch
hannes.eugster@fhnw.ch

Kay Kamer
Hannes Eugster
iNovitas AG – Mobile Mapping Solutions
CH-4132 Muttenz
kay.kamer@inovitas.ch
hannes.eugster@inovitas.ch



allnav ag
Ch. de la Confrérie 117
1844 Villeneuve
www.allnav.com

Tel. 024 550 22 15
Fax 024 550 22 16
allnav@allnav.com

Hauptsitz allnav Schweiz: CH-5504 Othmarsingen
Geschäftsstelle in Deutschland: D-71522 Backnang



Online Shop
www.allnav.com

«Compétence, efficacité
et sympathie sont des qua-
lificatifs qui résument bien
la philosophie d'allnav.»

Jonathan Cordy
GEOMETRES CENTRE SA, Sion

