

Dense Image Matching mit Schrägluftbildern der Leica RCD30 Oblique Penta

MARIANNE DEUBER¹

Zusammenfassung: Für den Vergleich von Dense Image Matching Algorithmen wurde eine Untersuchungssystematik erarbeitet und mit ausgewählten Softwareprodukten validiert. Sie ist neben Nadir- auch für Schrägluftbilder geeignet und umfasst verschiedene reproduzierbare Untersuchungen im 3D-Objekt- sowie im 2D-Bildraum. Für die Aufbereitung der Daten und die Vergleiche der Matching-Algorithmen wurden verschiedene Applikationen entwickelt. Die Untersuchungssystematik wurde so konzipiert, dass sie unabhängig von spezifischen Kamerasystemen oder Softwareprodukten ist. Sie kann auf beliebige andere Matching-Algorithmen angewendet werden. Bei den ersten getesteten Softwareprodukten konnten absolute Genauigkeiten im Bereich von 1-2 Pixeln in der Lage und Höhe nachgewiesen werden.

1 Einleitung

Bisher wurden Dense Image Matching (DIM-)Algorithmen überwiegend auf Nahbereichsaufnahmen, Nadir-Luftbilder oder im Bereich Mobile Mapping auf horizontale Bilder angewandt. Im Bereich Computer Vision sowie auch im Bereich der Luftbildphotogrammetrie existieren verschiedene Benchmarks über das Dense Image Matching. Beispiele sind der KITTI-Vision Benchmark (GEIGER et al. 2012, GEIGER et al. 2013) oder das EuroSDR-Project (HAALA 2013). Systematische Vergleiche von DIM-Algorithmen unter Verwendung von Schrägluftbildern fehlten bis anhin. Folgend wird eine Untersuchungssystematik präsentiert für den Vergleich von DIM-Algorithmen unter Verwendung von Schrägluftbildern der Leica RCD30 Oblique Penta. Die Systematik wurde anhand von vier ausgewählten Softwareprodukten validiert.

2 Grundlagedaten und untersuchte Softwareprodukte

2.1 Luftbildaufnahmen von Zürich West mit der Leica RCD30 Oblique Penta

Als Grundlagedaten für die Entwicklung und die Validierung der Untersuchungssystematik dienten orientierte Luftbildaufnahmen der Leica RCD30 Oblique Penta. Diese Mittel-Format Luftbildkamera beinhaltet fünf Kameraköpfe. In der Mitte befindet sich ein Multispektral-Kamerakopf. Rundherum sind mit einem Nadir-Winkel von 35° vier RGB-Kameraköpfe schräg angeordnet. Die vorliegenden Bilder weisen 60 Megapixel mit einer Pixelgröße von 6 µm auf. Die GSD betragen in den Nadir-Bildern 6 cm und in den Schrägluftbildern 6-13 cm. Die Querüberlappung beträgt 50% und die Längsüberlappung 70%. Die 3D-Genauigkeit (RMS) aller 43901 Verknüpfungspunkte beträgt nach der Bündelblockausgleichung 19.5 cm.

¹ FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Vermessung und Geoinformation, Gründenstrasse 40, 4132 Muttenz, Schweiz; E-Mail: marianne_deuber@hotmail.com

2.2 Untersuchungsgebiete und Referenzdaten

Für die Untersuchungen (vgl. 3.1) wurden zwei Perimeter definiert, in welchen verschiedene Referenzdaten vorlagen oder erfasst wurden. Als Referenzdaten standen Punktwolken aus einer ADS100-Befliegung und aus einer stereobildbasierten Mobile Mapping Messkampagne zur Verfügung. Die absolute Genauigkeit der Punktwolke der ADS100-Befliegung beträgt 2 cm in der Lage und 4 cm in der Höhe. Die Genauigkeit der Punktwolken der Mobile Mapping Messkampagne beträgt 3-4 cm in der Lage und 1 cm in der Höhe (NEBIKER & EUGSTER 2013). Als Ergänzung wurden an spezifischen Orten Referenzdaten mittels terrestrischen Laserscannings (TLS) erfasst. Die mittlere absolute Genauigkeit eines Punktes der TLS-Punktwolken beträgt 1.7 cm in der Lage und 2.2 cm in der Höhe (DEUBER 2014). In Abbildung 1 ist eine Übersicht der Grundlagen- und Referenzdaten dargestellt.

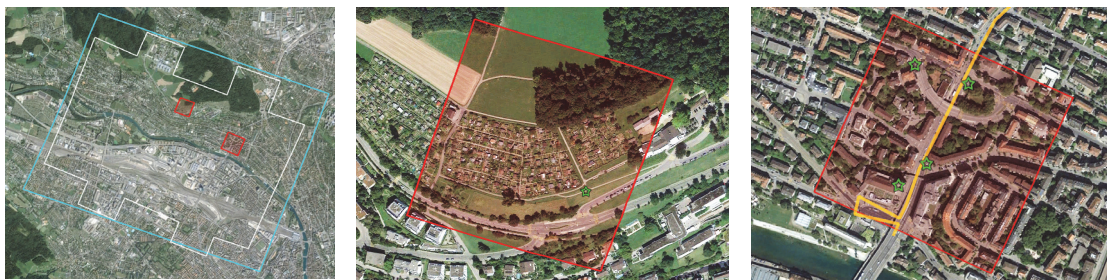


Abb. 1: Übersicht der Grundlagedaten und der Untersuchungsgebiete (Ausschnitte aus Google Earth). Blau: RCD30-Luftbilddaten; rot: Untersuchungsgebiete; weiß: ADS100-Daten; orange: Mobile Mapping-Daten; grün: Standorte des terrestrischen Laserscannings.

2.3 Verwendete Matcher für die Validierung

Die Softwarepakete, die zur Validierung der Untersuchungssystematik verwendet wurden, basieren grösstenteils auf dem von HIRSCHMÜLLER (2008) entwickelten Semi-Global-Matching Algorithmus oder auf Abwandlungen davon. Nachfolgend sind die Produkte aufgelistet:

- **PhotoScan** ist ein kommerzielles Softwareprodukt der Firma Agisoft LLC und basiert auf Computer Vision-Algorithmen (AGISOFT 2014).
- **Leica XPro SGM** ist Bestandteil der kommerziellen Software Leica Xpro von Leica Geosystems AG. Leica XPro wurde ursprünglich für Zeilensensoren entwickelt und später für Flächensensoren erweitert. (LEICA GEOSYSTEMS AG 2013)
- **StereoSGBM** (Stereo Semi-Global-Block-Matching) ist eine Funktion der frei verfügbaren OpenCV-Bibliothek. Im Vergleich zum von HIRSCHMÜLLER (2008) entwickelten Algorithmus kann neben pixelweise auch blockweise gematched werden. (OPENCV 2014)
- **SURE** ist eine kommerzielle Software für die Generierung von Punktwolken über Dense Matching aus Bildern mit bekannten Orientierungen. (ROTHERMEL et al. 2014)

3 Untersuchungssystematik

Die entwickelte Untersuchungssystematik ermöglicht es unter Verwendung von Nadir- oder Schrägluftbildern, die getesteten Softwarepakete objektiv zu beurteilen. Die Systematik wurde unter anderem so konzipiert, dass sie unabhängig davon ist, ob mit den einzelnen Software-

paketen nur Tiefenkarten, Punktwolken oder beides generiert werden können. Es wurden Applikationen entwickelt, mit welchen basierend auf den von den Softwareprodukten generierten Daten, alle für den Vergleich notwendige Produkte generiert werden können. So wurden etwa aus der generierten Punktwolke von Leica Xpro SGM mittels äusseren und inneren Orientierungen die entsprechenden Tiefenkarten berechnet. Abbildung 2 zeigt den Workflow und die Inputs und Outputs der verwendeten Softwareprodukte.

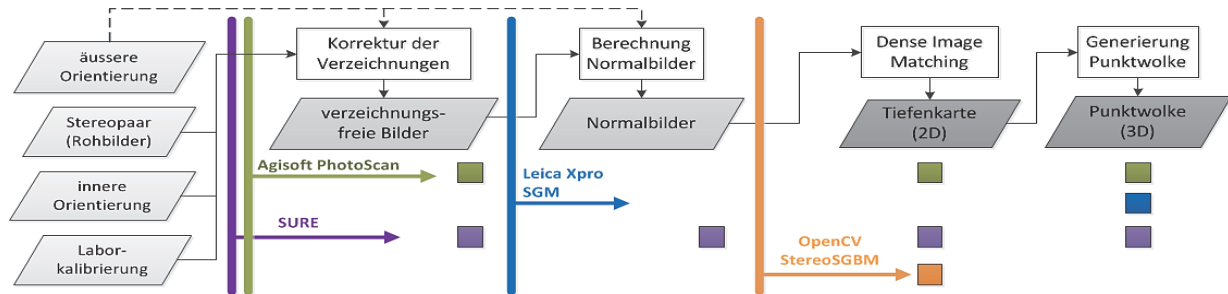


Abb. 2: Ablauf vom Stereobildpaar zur 3D-Punktwolke. Vertikale Linien: Positionen, in denen die Software in den Workflow einsetzen. Quadrate: Daten, die während des Workflows von der entsprechenden Software ausgegeben werden können.

3.1 Übersicht über die Untersuchungen

Die konzipierten Untersuchungen lassen sich wie folgt strukturieren. Die mit (x) markierten Untersuchungen werden anschließend kurz erläutert.

Untersuchungen im Bildraum

- Vollständigkeit von Tiefenkarten (x)
- Differenzen von Tiefenkarten und Referenz-Tiefenwerten (x)

Untersuchungen im Objektraum

- Dichte der Punktwolken
- Profile in den Punktwolken (x)
- Streuung der Punktwolken (x)
- Differenzen von Strecken in den Punktwolken
- Differenzen von absoluten 3D-Punkt-Koordinaten (x)

Allgemeine Untersuchungen

- Prozessierungszeiten
- Limitierungen der Algorithmen

3.1.1 Untersuchungen im Bildraum

Wie in Abbildung 2 ersichtlich ist, werden vor der Generierung von Punktwolken zuerst Tiefenkarten generiert. Unterschiede zwischen den Matchern können bereits beim Vergleich der Tiefenkarten festgestellt werden. Ein Vergleich von Tiefenkarten gegenüber Punktwolken hat den Vorteil, dass alle von den Matchern generierten Werte verglichen werden können. Auch dann, wenn für die gleiche Lagekoordinate im 3D-Objektraum mehrere Höhenwerte vorliegen, wie es bei Punktwolken aus Schrägluftbildern oft der Fall ist. Bei den Untersuchungen im 2D-Bildraum werden die Vollständigkeit und die generierten Werte der Tiefenkarten verglichen.

Vollständigkeit - Eine wichtige Eigenschaft von Tiefenkarten ist deren Vollständigkeit. Beim Vergleich der Vollständigkeit wird mithilfe der entwickelten Applikation *TotalityDM* die Anzahl der besetzten Pixel in Prozent ermittelt und visualisiert. (vgl. Abb. 3)

Tiefenwerte - Weiter können die generierten Tiefenwerte auch direkt verglichen werden. Als Referenz werden Objektpunkte des Referenzdatensatzes, beispielsweise des TLS, mithilfe der Applikation *PCtoDM* in Tiefenwerte umgerechnet. Die Referenzkarte wird dann mittels der Applikation *Comparison* mit der zu untersuchenden Tiefenkarte verglichen (vgl. Abb. 4)

3.1.2 Untersuchungen im Objektraum

Weitere Vergleiche werden im Objektraum mittels 3D-Punktwolken durchgeführt. Dazu werden, sofern noch keine Punktwolken vorliegen, aus den Tiefenkarten mithilfe des entwickelten Tools *DMtoPC* 3D-Punktwolken berechnet und mit entsprechenden Referenzdaten verglichen.

Profile in Punktwolken - Der Vergleich von Punktwolken untereinander, sowie mit Referenzdaten geschieht unter anderem über den Vergleich von Profilen. Für die Untersuchung wurden an ausgewählten Orten Profile durch die generierten Punktwolken gelegt. Die Profile werden dann mithilfe der Applikation *DrawProfile* für einen visuellen Vergleich dargestellt. (vgl. Abb. 5)

Streuung von Punktwolken in ebenen Flächen - Für den Vergleich der Streuung werden Flächen in ebene Gebiete von Punktwolken gefittet. Schliesslich werden die RMS-Werte der Punktabstände zur Fläche ermittelt und mit Referenzwerten verglichen.

Differenzen von absoluten 3D-Punkt-Koordinaten - Für den Vergleich werden homologe Punkte in allen Punktwolken mittels Flächenschnitten konstruiert, die Koordinaten der Punkte erfasst, statistisch ausgewertet und verglichen. Mithilfe des entwickelten Tools *DrawVector* werden die Differenzen visualisiert. (vgl. Abb. 6)

3.2 Entwickelte Applikationen für die Operationalisierung der Systematik

Für die Realisierung der Vergleiche sowie für die Analyse und Visualisierung der Resultate wurden spezifische Software-Applikationen entwickelt.

OriforSURE - Skript für das Aufbereiten der äusseren und inneren Orientierungen aus den Werten der Bündelblockausgleichung für die Verwendung in SURE.

DMtoPC - Matlab-Skript, welches erweitert wurde, für die Generierung der 3D-Punktwolke aus einer Tiefenkarte von Luftbildern und den entsprechenden äusseren und inneren Orientierungen.

PCtoDM - Matlab-Skript, das weiterentwickelt wurde, für die Generierung der Tiefenkarte aus einer 3D-Punktwolke und den entsprechenden äusseren und inneren Orientierungen.

TotalityDM – Ermittlung und Visualisierung der nicht besetzten Pixel einer Tiefenkarte.

DrawProfile - Visualisierung von Profilpunkten, die im Format XML vorliegen.

DrawVector - Visualisierung von Differenzvektoren von Punkten in der Lage und Höhe.

Comparison - Vergleich von zwei Rasterbildern wie beispielsweise zwei Tiefenkarten. Eingabewerte sind zwei Rasterbilder. Als Ausgabe werden ein Differenzbild, sowie statistische Angaben analytisch und visuell ausgegeben.

4 Validierung der Systematik

Die Systematik wurde mittels der in Kapitel 2.3 beschriebenen Softwareprodukte validiert. Nachfolgend ist ein Auszug aus den Ergebnissen aufgeführt. Die vollständigen und detaillierten Resultate sind in (DEUBER 2014) präsentiert.

4.1.1 Vollständigkeit von Tiefenkarten

In Abbildung 3 sind Ausschnitte der Resultate dargestellt. Die Unterschiede in der Vollständigkeit treten vor allem in schattigen Bereichen und bei Büschen oder Bäumen auf. Die Tiefenkarten von SURE wiesen mit 78% den höchsten prozentualen Vollständigkeitswert aus.

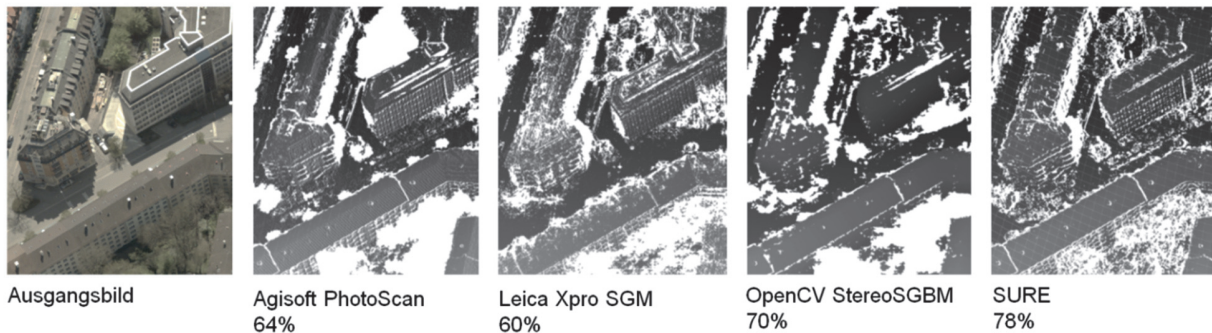


Abb. 3: Vergleich der Vollständigkeit von Tiefenkarten. Weiße Pixel weisen keine Tiefenwerte auf.

4.1.2 Vergleich von Tiefenwerten

Nachfolgend sind die Differenzen von generierten Tiefenkarten zu Referenztiefenwerten als Differenzbilder und Fehlerdiagramme aufgeführt. Die RMSE Werte betragen zwischen 0.3 m und 0.5 m und die Mittelwerte zwischen -0.30 m bis 0.28 m.

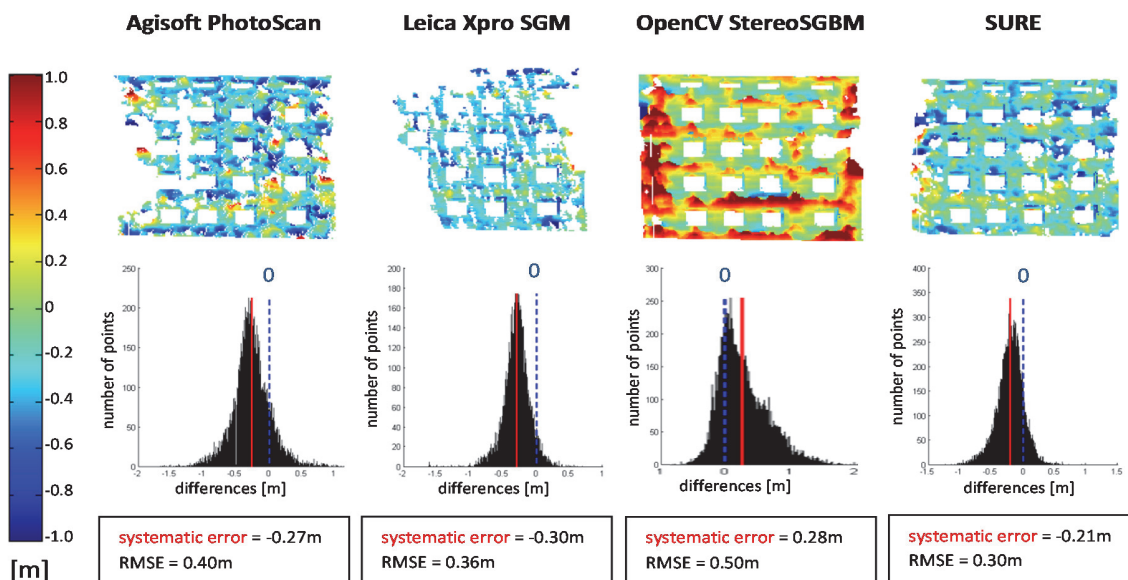


Abb. 4: Absolute Differenzen von Tiefenwerten eines Fassaden-Ausschnitts. Die Tiefenwerte wurden aus einem Stereopaar mit Oblique-Bildern der Left-Kamera generiert.

4.1.3 Profile in den Punktwolken

In Abbildung 5 sind Profile von Punktwolken verschiedener Softwareprodukten im Vergleich dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Strukturen des Gebäudes in allen Punktwolken gut ersichtlich sind (vgl. Detail 1 und 2). Schwierigkeiten traten in den schattigen Bereichen auf.

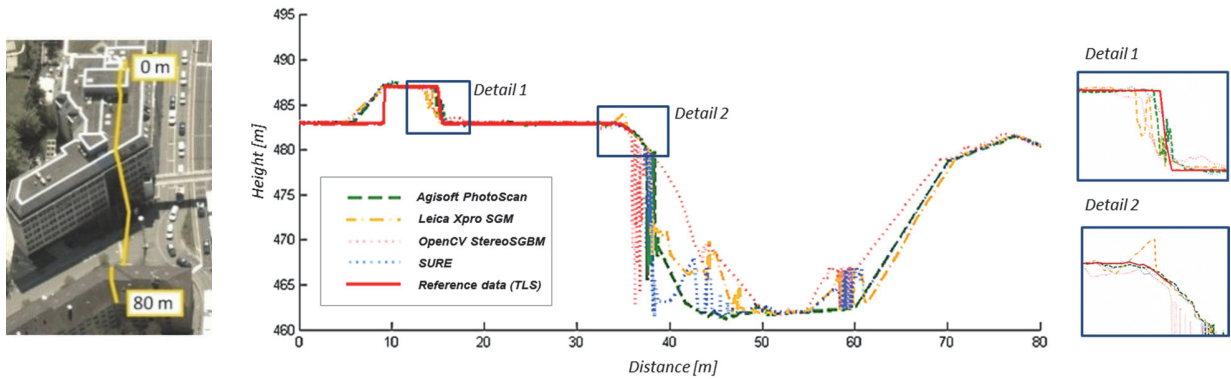


Abb. 5: Profil von Dächern und einer Straße in der Punktwolke aus einem Stereopaar der Left-Kamera.

4.1.4 Differenzen von absoluten 3D-Punkt-Koordinaten

In Abbildung 6 sind die absoluten Genauigkeiten sowie ein Vektorplan für die Visualisierung der Differenzen in untersuchten Punkten dargestellt. Für die Bestimmung der Genauigkeiten wurden die Koordinatendifferenzen von jeweils circa 12 Punkten berücksichtigt. Die durchschnittlichen Werte liegen im Bereich von etwa einer und die größten Werte im Bereich einer doppelten GSD.

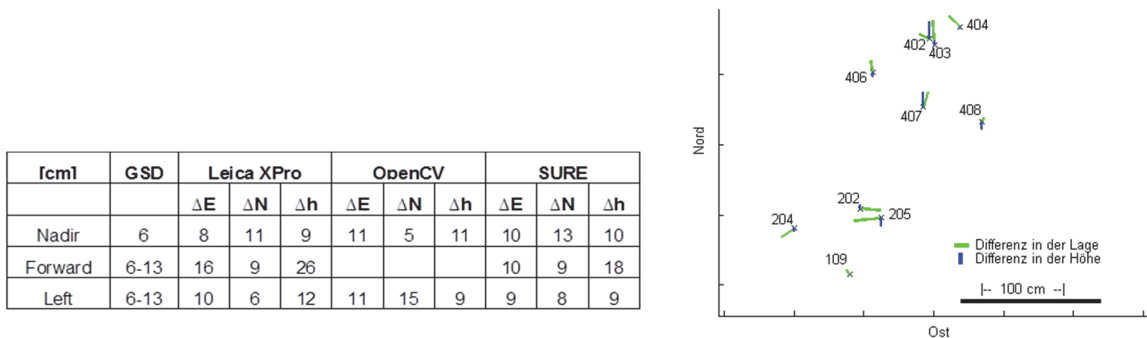


Abb. 6: Links: Zusammenstellung ermittelten Genauigkeiten (RMSE) über Differenzen von absoluten Koordinaten, Rechts: Ausschnitt einer Visualisierung der Differenzen in einzelnen Koordinaten.

5 Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Untersuchungssystematik eignet sich für objektive Vergleiche von verschiedenen DIM-Algorithmen. Die Untersuchungen können dabei sowohl mit Nadir- als auch mit Schrägluftbildern durchgeführt werden. Zudem sind sie unabhängig von bestimmten Kamerasystemen und Softwareprodukten. Es ist geplant, die erarbeitete Untersuchungssystematik zu erweitern und auf weitere Matcher anzuwenden. Weiter kann sie als Grundlage für Benchmarks im Bereich Matching mit Oblique-Luftbildern verwendet werden. So enthält beispielsweise der ISPRS/EuroSDR-Benchmark (CAVEGN et al. 2014) Ansätze aus dieser Arbeit.

6 Literaturverzeichnis

- AGISOFT, 2014: Agisoft PhotoScan. <http://www.agisoft.com> (21.10.2014).
- DEUBER, M., 2014: Oblique Photogrammetry – Dense Image Matching mit Schrägluftbildern. Master Thesis, FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz.
- CAVEGN, S., HAALA, N., NEBIKER, S., ROTHERMEL, M. & TUTZAUER, P., 2014: Benchmarking High Density Image Matching for Oblique Airborne Imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zürich, Vol. XL-3, S. 45-52.
- GEIGER, A., LENZ, P. & URTASUN, R., 2012: Are we ready for autonomous driving? The KITTI Vision Benchmark Suite. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), S. 3354-3361).
- GEIGER, A., LENZ, P., STILLER, C. & URTASUN, R., 2013: The KITTI Vision Benchmark Suite. http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval_stereo_flow.php?benchmark=stereo (21.10.2014).
- HAALA, N., 2013: The Landscape of Dense Image Matching Algorithms. Photogrammetric Week '13, Fritsch, D. (Hrsg.), Stuttgart, Wichmann, S. 271-284.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **30** (2), S. 328-341.
- LEICA GEOSYSTEMS AG, 2013. Leica XPro - Data Processing at the Speed of Flight. http://www.leica-geosystems.com/de/FLYKIN-SUITE_57633.htm (21.10.2014).
- NEBIKER, S. & EUGSTER, H., 2013: 3DCityTV - Cloud-basierte Stereovision Mobile Mapping Services. 17. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2013, Hanke, K. & Weinold, T. (Hrsg.), Obergurgl, Ötztal: Wichmann, S. 144-153.
- OPENCV, 2014: Camera Calibration. StereoSGBM. http://docs.opencv.org/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html#stereosgbm (21.10.2014).
- ROTHERMEL, M., WENZEL, K. & HAALA, N., 2012. SURE: Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery. LC3D Workshop, Berlin, Germany. http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2012/Rothermel_etal_lc3d.pdf (11.10.2013)