

Benchmark zur Evaluation dichter Bildzuordnungsverfahren in Luftbildern

NORBERT HAALA¹ & STEFAN CAVEGN^{1,2}

Zusammenfassung: Die Konzeption und die bisherigen Ergebnisse eines Vergleichstests zur Evaluation dichter Bildzuordnungsverfahren in Luftbildern wird vorgestellt. Neben der Untersuchung zur Erzeugung dichter Oberflächenmodelle aus Standardluftbildblöcken liegt dabei ein Schwerpunkt auf der Auswertung von Schrägaufnahmen für urbane Bereiche. Das geplante Auswerteverfahren wird anhand erster Ergebnisse exemplarisch vorgestellt. Neben der Genauigkeit der photogrammetrischen Punktbestimmung sind bei den diskutierten Untersuchungen insbesondere die Bestimmung von Parametern wie Punktdichte und Punktverteilung von Interesse.

1 Einleitung

Automatische Stereobildzuordnungsverfahren werden seit mehr als zwei Jahrzehnten zur Ableitung von Höhenmodellen aus Luftbildern genutzt. Ein erheblicher Qualitätssprung hat sich dabei durch die seit einigen Jahren verfügbaren globalen Zuordnungsverfahren ergeben. Insbesondere bei geeigneter Nutzung stark überlappender Bildflüge ermöglichen diese leistungsstarken Verfahren eine bildbasierte Erfassung von 3D Punktwolken und Digitalen Höhenmodellen in einer Auflösung und Genauigkeit, die annähernd der Pixelgröße der verwendeten Bilder entspricht. Zur Bewertung solcher Verfahren wurde unter der Federführung des Instituts für Photogrammetrie eine geeignete Testumgebung im Rahmen der gemeinsamen EuroSDR/ISPRS Initiative zur Evaluation dichter Bildzuordnungsverfahren zur Verfügung gestellt. Diese Testumgebung umfasst Luftbildblöcke in Aufnahmekonfigurationen, wie sie für die flächendeckende Erfassung offener, ländlicher Gebiete aber auch komplexer 3D Stadtgebiete typisch sind. Die in Kapitel 2 vorgestellte Auswertung der bereits vorhandenen Ergebnisse zeigt somit den Stand der Entwicklungen und demonstriert mögliche Anwendungsszenarien für die Multi-Stereo-Zuordnung von Luftbildern.

Neben Luftbildblöcken mit Standard-Senkrechtaufnahmen gewinnen Schrägluftbilder oder Oblique-Bilder vor allem zur Datenerfassung in Stadtgebieten zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund umfasst der Benchmark-Test die Auswertung eines Blocks mit solchen Bildern. In solchen Aufnahmen werden insbesondere Gebäudefassaden gut abgebildet, so dass sie häufig als Datengrundlage bei der Erfassung von 3D-Stadtmodellen zum Einsatz kommen. Auf der anderen Seite stellen die stark unterschiedlichen Blickrichtungen und die auftretenden großen Verdeckungen und Maßstabsunterschiede eine Herausforderung an die Entwicklung geeigneter Verfahren zur dichten 3D Punktbestimmung mittels Multi-Stereozuordnung dar. Kapitel 3 stellt die geplanten Untersuchungen für solche 3D Punktwolken an Gebäudefassaden vor.

¹ Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Strasse 24D, 70174 Stuttgart; E-Mail: [Norbert.Haala, Stefan.Cavegn]@ifp.uni-stuttgart.de

² Institut Vermessung und Geoinformation, FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz, Gründenstrasse 40, 4132 Muttenz, Schweiz; E-Mail: stefan.cavegn@fhnw.ch

2 Bildbasierte DOM-Erzeugung aus Standardbefliegungen

Um den Aufwand potentieller Teilnehmer zu begrenzen wurde die Auswertung jeweils auf Teilbereiche von Luftbildblöcken beschränkt. Zur Evaluierung der bildbasierten Erzeugung von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) wurden zunächst zwei repräsentative Datensätze aus Bildböcken unterschiedlicher Landnutzungsart und Blockgeometrie ausgewählt. Dabei ist der erste Datensatz Vaihingen/Enz typisch für die landesweite Erzeugung von Digitalen Höhenmodellen in Bereichen wechselnder Landnutzungsarten. Der ausgewählte Datensatz umfasst ein eher ländliches Gebiet mit eher welligem Gelände. Dabei sind Bildüberdeckung (längs 63%, quer 62%) und Auflösung relativ moderat. Der für die Untersuchungen genutzte Teilblock besteht aus 3 Streifen mit jeweils 12 Bildern, wobei die verfügbare Überdeckung zur Abbildung eines Objektpunktes in durchschnittlich 9 Bildern führt. Das zu erzeugende DOM hat eine Größe von 7.5km x 3.0km. Die vorgegebene Rasterweite von 0.2m entspricht der Auflösung (Ground Sampling Distance, GSD) der verwendeten Luftbilder. Das zweite Testgebiet ist eher typisch für die Datenerfassung in bebauten Gebieten. Dabei werden die Bilder üblicherweise in höherer Auflösung und Überdeckung erfasst. Der ausgewählte Datensatz überdeckt das Stadtzentrum von München. Die GSD beträgt 10cm, Längs- und Querüberdeckung liegt bei jeweils 80%. Dies resultiert in bis zu 15 Bildern pro Objektpunkt und damit zu einer potentiell großen Redundanz für die photogrammetrischen Objektpunktbestimmung. Der zur Verfügung gestellte Teilblock besteht aus 3 Streifen mit je 5 Bildern, das Testgebiet umfasst 1.5km x 1.7km.

2.1 Durchgeführte Analysen

Um vergleichbare Ergebnisse von den Teilnehmern zu erhalten mussten die vordefinierten Orientierungsparameter der Bilder ohne Änderung im Rahmend der dichten Stereobildzuordnung übernommen werden. Zur besseren Standardisierung und Vereinfachung der Auswertung war jeweils ein DOM-Raster in vorgegebener Größe und Auflösung zu erzeugen, auf die Untersuchung von 3D Punktwolken wurde zunächst verzichtet. Im Prinzip erfordert die Bewertung der durch Stereobildzuordnung abgeleiteten DOM eine Referenzfläche aus unabhängigen Messungen in übergeordneter Genauigkeit. Dies gestaltet sich jedoch bei der angestrebten Auflösung und Genauigkeit des DOM schwierig. Alternativ wurde deshalb aus allen verfügbaren Lösungen eine Median-Fläche berechnet. Diese liefert zwar nicht die tatsächliche „wahre“ Oberfläche, ist aber gut geeignet um Abweichungen der einzelnen Lösungen und damit potentiell problematische Bereiche zu detektieren. Abbildung 1 zeigt exemplarisch einen Orthophotoausschnitt des Testgebiets Vaihingen/Enz, Abbildung 2 illustriert das berechnete Median-DOM. Die RMSE-Werte der verfügbaren Lösungen aus 10 unterschiedlichen Softwaresystemen sind dabei farbkodiert dargestellt sind. Größere Unterschiede zwischen den Lösungen treten insbesondere im Schattenbereich des Steinbruchs, im Bereich des Flusses, in der Nachbarschaft von Baumgruppen und in den Weinbergen auf.



Abb. 1: Orthophotoausschnitt des Testbereichs Vaihingen/Enz



Abb. 2: RMS-Differenzen aller untersuchten Lösungen

Eine quantitative Analyse wurde zusätzlich durch Extraktion der in Abbildung 1 überlagerten Höhenprofile durchgeführt. Generell zeigte sich dabei eine gute Übereinstimmung der unterschiedlichen Lösungen in den gut beleuchteten Bereichen, während in verschatteten Bereichen größere Differenzen auftraten. Eine Reihe von Softwaresystemen ermöglichte jedoch auch in diesen anspruchsvolleren Situationen die Berechnung von DOM mit einer Genauigkeit und Auflösung in der Größenordnung von 20cm und damit der GSD der verwendeten Bilder. Insgesamt standen für diese erste Phase der Untersuchungen, die im November 2014 abgeschlossen wurden, Lösungen von 10 unterschiedlichen Softwarepaketen zur Verfügung. Eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse ist in HAALA (2014) zu finden.

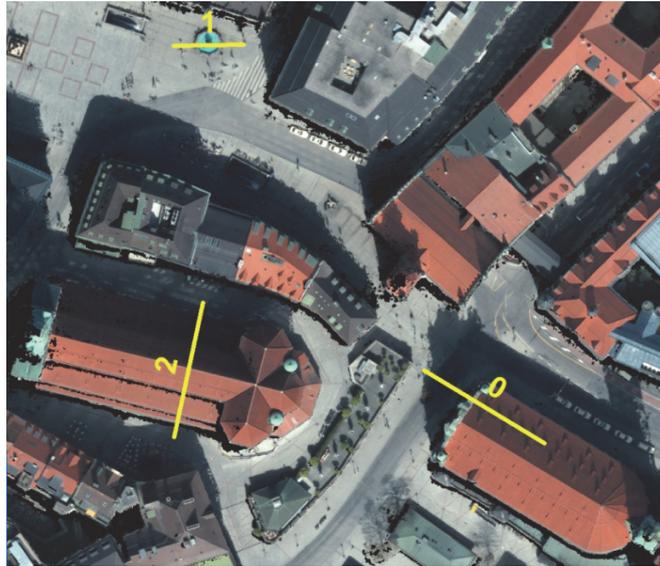


Abb. 3: Orthophoto für einen Ausschnitt des Testgebiets München

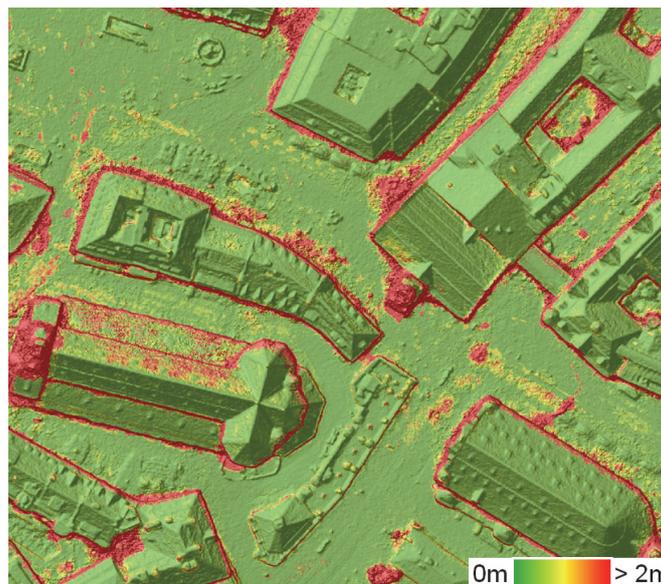


Abb. 4: RMSE-Werte der unterschiedlichen Lösungen für das Testgebiet München

Abbildung 3 zeigt einen Orthophotoausschnitt des Testgebiets München, die zugehörige farbkodierte Darstellung der RMSE-Werte aus den unterschiedlichen Lösungen enthält Abbildung 4. Unterschiede zwischen den einzelnen Lösungen sind insbesondere an kleineren Objektdetails im Bereich großer Höhendifferenzen in der Nähe von Gebäudefassaden erkennbar. Darüber hinaus vergrößert sich das Rauschen für Oberflächen im Schlagschatten. Dies zeigt sich auch bei der Untersuchung der Höhenprofile. Die extrahierten Profile sind in Abbildung 1 und 3 den jeweiligen Orthophotos überlagert. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, liegt das in Abbildung 5 exemplarisch dargestellte Profil 0 zunächst innerhalb des Schlagschattens vor dem Gebäude. In diesem Teil ist für einige Lösungen ein verstärktes Rauschen zu beobachten. Nach dem

Höhensprung an der Fassade, der für einzelne Ergebnisse ebenfalls eine größere Abweichung aufzeigt, sind für den anschließenden Bereich der Dachgauben nur geringe Unterschiede sichtbar. Dies zeigt sich insbesondere für den vergrößerten Ausschnitt in Abbildung 5 (rechts). Dort geben alle Lösungen die zugrunde liegende Form gut wieder, die Unterschiede liegen wiederum in der Größenordnung von 10cm und damit in der gleichen Größenordnung wie die Bildauflösung.

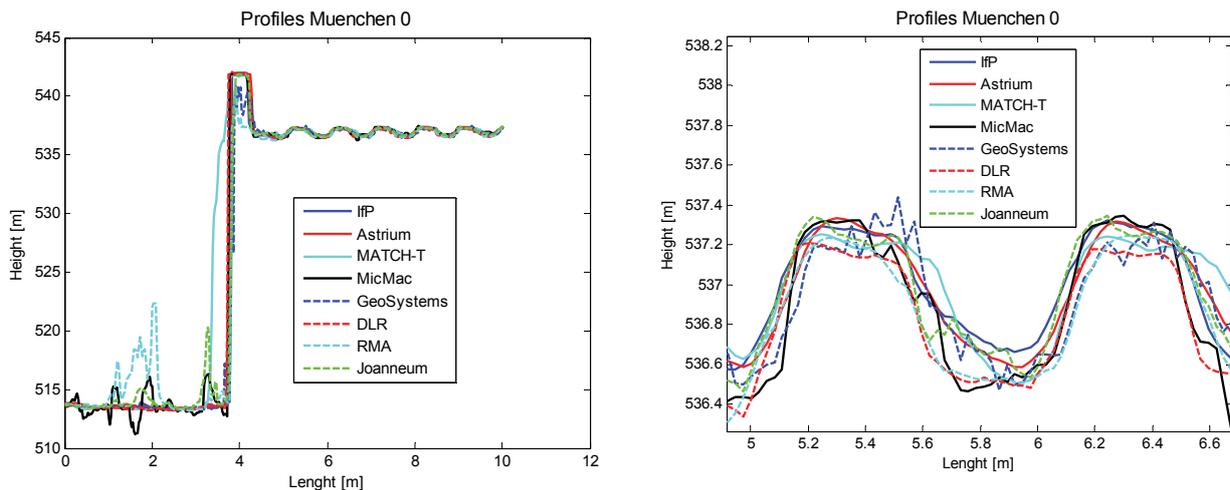


Abb. 5: Höhenprofile von unterschiedlichen DOM-Lösungen für das Testgebiet München

2.2 Möglichkeiten und Grenzen der bildbasierten DOM-Erfassung

Die Untersuchungen zeigen, dass eine steigende Anzahl kommerzieller Softwareprodukte und Programmentwicklungen aus Forschungseinrichtungen existieren, die eine genaue, vollständige und hochaufgelöste DOM-Erzeugung aus Standard-Luftbildblöcken ermöglichen. Für eine Liste der untersuchten Softwaresysteme und die detaillierte Diskussion der Untersuchungsergebnisse sei auf HAALA (2014) verwiesen. Die insgesamt guten Ergebnisse sind zum einen auf die verbesserten Auswerteverfahren zur pixelbasierten Stereobildzuordnung zurückzuführen. Zum anderen ermöglicht die erhöhte Bildüberdeckung eine effiziente Vermeidung fehlerhafter Zuordnungen durch geeignete Nutzung der verfügbaren Redundanzen. Damit ist eine zuverlässige Erzeugung von DOM mit Höhengenaugigkeiten möglich, die sich dem Sub-Pixelbereich annähern. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse akzeptable Rechenzeiten, die eine Reihe von Softwaresystemen bereits mit Standard-Hardware erreichen. Datensätze wie das Testgebiet München mit 15 Bildern mit jeweils 220MPixel oder Vaihingen/Enz mit 36 Bildern mit jeweils 136MPixel lassen sich ohne Probleme auswerten. Dennoch können einige Aufnahmeszenarien zu Problemen bei der Auswertung führen. So führen Schlagschatten bei einigen Systemen zu einer deutlich geringeren Genauigkeit der bildbasierten geometrischen Oberflächenerfassung. Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren zeigen sich vor allem auch bei kleinen Objektdetails im Bereich der Bildauflösung. Generell erfolgt eine sehr dynamische Weiterentwicklung von Software zur Multi-Stereo-Bildzuordnung, so dass weitere

Verbesserungen bezüglich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Auswertegeschwindigkeit zu erwarten sind. Aus diesem Grund wurde die ursprünglich bis 2014 terminierte Benchmark im Rahmen einer ISPRS/EuroSDR-Initiative verlängert und steht Interessenten auch weiterhin zur Verfügung.

Im Rahmen dieser Initiative erfolgt auch eine Erweiterung auf die Auswertung von 3D Punktwolken aus Schrägluftbildern (CAVEGN et al. 2014b). Solche Oblique-Datensätze zeichnen sich in der Regel durch stärkere Änderungen des Bildmaßstabs aufgrund der aufnahmebedingten Entfernungsänderungen, erheblich mehr Verdeckungen vor allem in städtischen Bereichen sowie größere radiometrische Bildunterschiede aus. Dies resultiert in zusätzlichen Herausforderungen an die jeweilige Auswertesoftware.

3 Oblique-Datensätze

Der Oblique-Benchmark Test basiert auf einem Luftbildblock mit einer Bodenpixelauflösung von 6-13cm. Die Malteser-Kreuz-Konfiguration der verwendeten Leica RCD30 Oblique Penta Kamera mit einem Nadir- und vier Oblique-Kameraköpfen liefert dabei für jeden Aufnahmestandpunkt 5 Bilder. Insgesamt umfasst der verwendete Testdatensatz 135 Bilder, bestehend aus 3 Flugstreifen mit jeweils 9 Aufnahmestandpunkten für ein 500m x 500m großes Gebiet innerhalb von Zürich. Die verfügbare Bildüberdeckung beträgt für die Nadir-Kamera 70% in Längs- und 50% in Querrichtung. Bei einer Flughöhe über Grund von 520m und einer Bildbasis von 105m liegt das Basis-/Höhenverhältnis bei ca. 0.2. Die Brennweite von 53mm ergibt dabei eine GSD von 6cm für die Nadiraufnahmen und eine GSD von 6-13cm für die 4 Schrägaufnahmen.

Die Stereobildzuordnung von Senkrechtaufnahmen wird in der Regel zur Erfassung von 2.5D Rasterdaten in Form von DOM verwendet. Demgegenüber werden Schrägluftbilder in der Regel zur Erfassung komplexer urbaner 3D Strukturen genutzt. Dies erfordert üblicherweise eine Repräsentation durch dichte, eventuell triangulierte 3D Punktwolken. Aus diesem Grund erfolgt die Evaluation der Zuordnungsverfahren für die Schrägluftbilder auf Basis der Qualität und Robustheit der erzeugten 3D Punktwolken. Diese werden insbesondere im Bereich von Gebäudefassaden untersucht. Dabei erfolgt die qualitative Bewertung unter Verwendung terrestrischer Laserscans, die für eine Reihe von Gebäuden zur Verfügung stehen.

3.1 Berechnete 3D Punktwolken

Zur Validierung des geplanten Auswerteverfahrens wurde u.a. die in Abbildung 6 dargestellte 3D Punktwolke mit dem Softwaresystem SURE (ROTHERMEL et al. 2012) generiert, eine weitere Lösung wurde mittels PhotoScan (AGISOFT 2015) erzeugt. Als Referenzmessungen wurden in Ergänzung zu den in CAVEGN et al. (2014a) vorgestellten terrestrischen Laserscans weitere Gebiete mit einer Leica ScanStation P20 erfasst. Die mittlere absolute Genauigkeit eines TLS-Punktes in der Lage von 1.7cm und in der Höhe von 2.2cm entspricht der erwarteten 3D-Genauigkeit von 1/3-1/2 GSD. Die räumliche Auflösung bei den Fassaden betrug mindestens ein Drittel der GSD, meistens bewegte sie sich jedoch im Bereich von einigen Millimetern. XYZ-Koordinaten aber keine Farbinformation wurden für mehrere Gebäudefassaden, einige Dachflächen

sowie Straßen bestimmt. Ein Ausschnitt aus der resultierenden 3D Punktwolke ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abb. 6: Mit Bildzuordnung generierte Punktwolke aus Schrägluftbildern

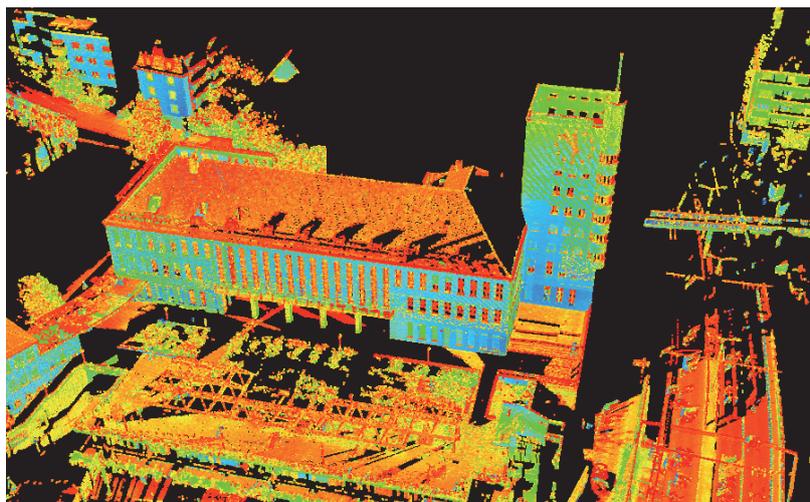


Abb. 7: Verfügbare Referenz-Punktwolke aus terrestrischem LiDAR

3.2 Nutzung der Referenzmessungen aus terrestrischem LiDAR

Zur Vereinfachung der Auswertung steht darüber hinaus ein 3D-Stadtmodell in LOD2 zur Verfügung. Die horizontale Genauigkeit der Fassaden ist mit 10-15cm und die Höhengengenauigkeit mit 20cm spezifiziert. Damit sind die jeweiligen Gebäudemodelle zwar nicht als Referenz geeignet, können jedoch gut zur Selektion einzelner Bereiche genutzt werden. Abbildung 8 zeigt das 3D-Stadtmodell überlagert mit der 3D Punktwolke aus terrestrischem Laserscanning. Nach Auswahl einer Gebäudefassade (grün) lassen sich in einem vordefinierten Suchbereich die zugehörigen, im Beispiel violett markierten Punkte automatisiert auswählen. Aufgrund der TLS Punktwolke kann nun eine Bezugsfläche durch die ausgleichende oder manuell bestimmbare

Ebene definiert werden. Zu dieser wird dann für alle benachbarten Punkte der senkrechte Abstand bestimmt. Analog zur Ableitung eines DOM-Rasters aus Höhenwerten wird aus diesen Abstandsmessungen ein „Abstands-Raster“ erzeugt. Das Raster aus den terrestrischen LiDAR-Daten (TLS) stellt nun eine Referenzfläche übergeordneter Genauigkeit dar, das mit einem Raster aus Punktwolken der Bildzuordnung durch Differenzbildung einfach verglichen werden kann. Die Rasterweite wurde für die vorgestellten Untersuchungen mit 6cm analog zur maximalen Bildauflösung gewählt.

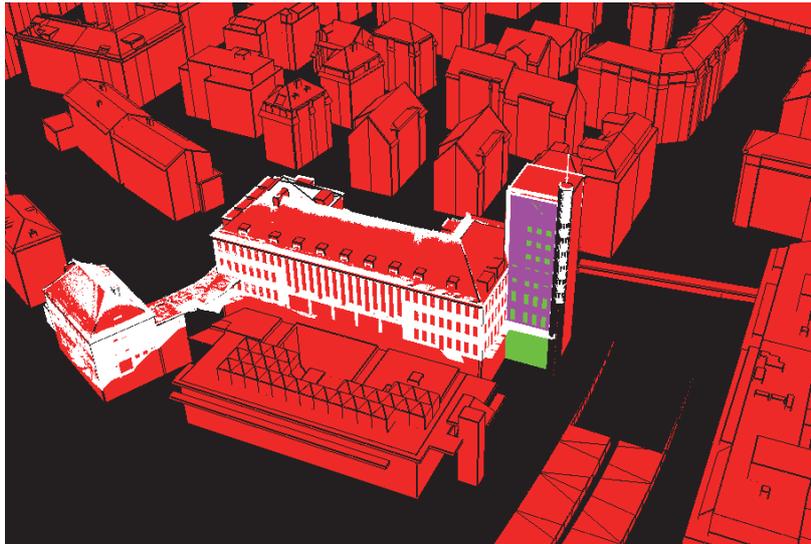


Abb. 8: Screenshot vom Fassadenextraktions-Tool. Rot: 3D-Stadtmodell. Weiss: TLS Punktwolke. Grün: ausgewählte Fassade. Violett: ausgewählte TLS Punktwolke.

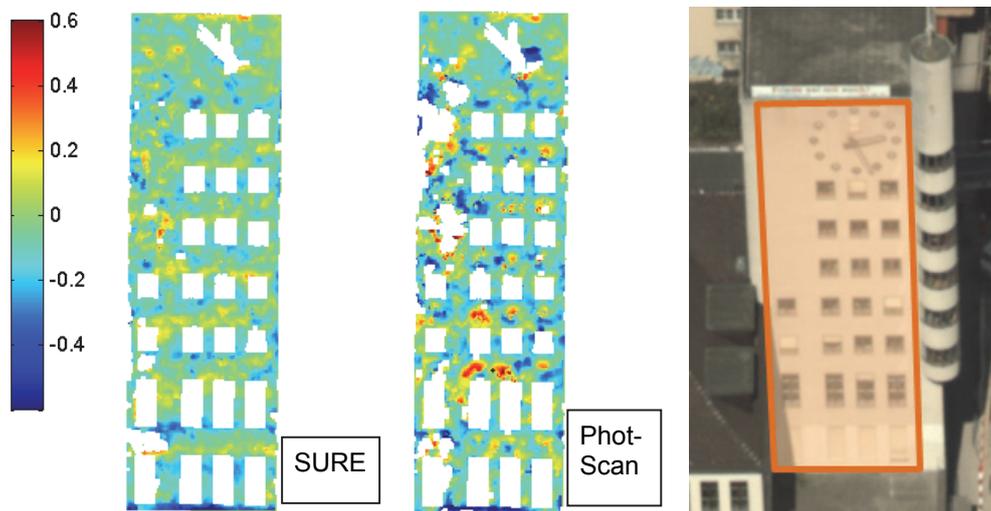


Abb. 9: Abweichungen zwischen Bildzuordnung und TLS bei einem exemplarischen Fassadenausschnitt für die zwei unterschiedlichen Softwaresysteme SURE und PhotoScan

Ein Ergebnis dieses Prozesses ist exemplarisch in Abbildung 9 dargestellt. Rechts ist die bereits in Abbildung 8 markierte Fassadenfläche dem zugehörigen Schrägluftbildausschnitt überlagert.

Die Farbskala auf der linken Seite der Abbildung ist für einen Bereich von -60cm bis 60cm und damit der 10-fachen GSD der Nadir-Aufnahmen definiert. In der Mitte von Abbildung 9 sind die Differenzen der Lösungen mit SURE und PhotoScan in Bezug zur terrestrischen LiDAR Messung dargestellt. Während mit SURE durchschnittlich 112 Punkte/m² generiert wurden, resultierte mit PhotoScan für den abgebildeten 260 m² großen Ausschnitt eine Punktdichte von 147. Für SURE und TLS konnte ein RMSE-Wert von 12.3cm und für PhotoScan und TLS ein RMSE-Wert von 17.1cm berechnet werden. Die Mittelwertabweichung von Bildzuordnung und TLS beträgt für SURE -6.8cm und für PhotoScan -8.1cm. Weitere Ergebnisse können CAVEGN et al. (2014b) entnommen werden.

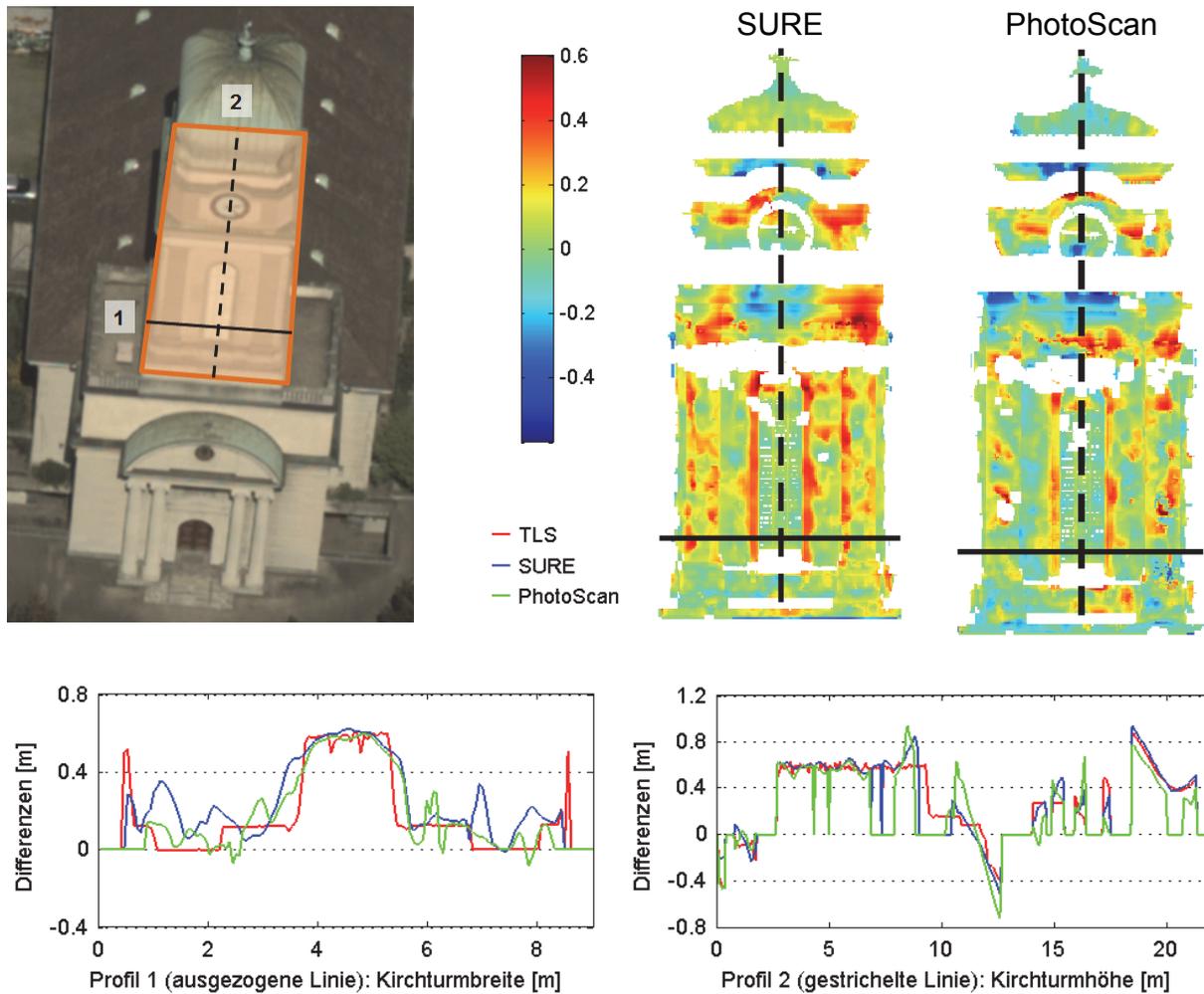


Abb. 10: Schrägluftbild mit überlagerter Untersuchungsfläche und Profilingaben (oben links), Abweichungen zwischen Bildzuordnung und TLS für SURE sowie PhotoScan (oben rechts). Unten dargestellt die horizontale (links) und um 90° im Uhrzeigersinn gedrehte vertikale Profile (rechts).

Als weiteres Beispiel sind die Abweichungen zwischen SURE bzw. PhotoScan und TLS für die Südfassade eines Kirchturms in Abbildung 10 dargestellt. Da der Scan-Standort nahe beim Eingang der Kirche gelegt werden musste, konnten aufgrund der steilen Visuren und den

mehrfachen Versätzen diverse Bereiche nicht mit TLS erfasst werden. Die im Vergleich zur Fassade von Abbildung 9 generell größeren Abweichungen lassen sich mit dem erhöhten Detailreichtum erklären. Zusätzlich wurden sowohl horizontale wie auch vertikale Profile generiert. Dargestellt sind die Profile aus TLS in rot, SURE in blau und PhotoScan in grün. Die vielen 0-Werte bei den vertikalen Profilen vor allem für PhotoScan signalisieren, dass für die jeweiligen Abschnitte keine Beobachtungen vorliegen.

4 Diskussion

Der in Kapitel 2 vorgestellte Test zur bildbasierten Erzeugung DOM aus Nadirbildern wurde ursprünglich im Jahr 2013 als EuroSDR-Projekt gestartet und 2014 abgeschlossen. Dieser Test wird nun im Rahmen der gemeinsamen EuroSDR/ISPRS Initiative "Benchmark on High Density Aerial Image Matching" weitergeführt. Diese Initiative erweitert darüber hinaus die Bewertung dichter Bildzuordnungsverfahren um Untersuchungen von 3D Punktwolken aus Schrägluftbildern. Die Testdaten sind frei zugänglich und es ist geplant, die Untersuchungen bei Vorliegen einer genügend großen Anzahl von Ergebnissen für größere Bereiche durchzuführen sowie entsprechend zu dokumentieren. Weitere Informationen zum Test befinden sich unter www.ifp.uni-stuttgart.de/ISPRS-EuroSDR/ImageMatching/index.html

5 Literaturverzeichnis

- AGISOFT, 2015: Agisoft PhotoScan. <http://www.agisoft.com/> (20.1.2015).
- CAVEGN, S., NEBIKER, S. & DEUBER, M., 2014a: Dense Image Matching mit Oblique Luftbildaufnahmen – Ein systematischer Vergleich verschiedener Lösungen mit Aufnahmen der Leica RCD30 Oblique Penta. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 23, Seyfert, E., Gülch, E., Heipke, C., Schiewe, J. & Sester, M. (Hrsg.), 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 26.-28. März 2014 an der HafenCity Universität Hamburg, Tagungsband auf CD-ROM, Beitrag 227.
- CAVEGN, S., HAALA, N., NEBIKER, S., ROTHERMEL, M. & TUTZAUER, P., 2014b: 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.
- HAALA, N., 2014: Dense Image Matching Final Report. EuroSDR Publication Series, Official Publication No. 64, S. 115-145.
- ROTHERMEL, M., WENZEL, K., FRITSCH, D. & HAALA, N., 2012: SURE: Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery. Proceedings LC3D Workshop, Berlin.