

Bevölkerungsabschätzung in Städten anhand von Stereo-Bildpaarungen, die nicht am selben Tag aufgenommen wurden

Population Estimation in Urban Areas Based on “Mixed/Cross” Stereo Models

Lorenz Wendt¹, Thomas Krauß², Pablo d'Angelo², Dirk Tiede¹,
Sebastian d'Oleire-Oltmanns¹, Kerstin Kulesa³, Klaus Steinnocher⁴,
Bruno Chatenoux⁵, Andrea de Bono⁵, Stefan Lang¹

¹Fachbereich für Geoinformatik Z_GIS, Universität Salzburg · lorenz.wendt@sbg.ac.at

²Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Oberpfaffenhofen

³Spatial Services GmbH, Salzburg

⁴AIT Austrian Institute of Technology, Wien

⁵UN Environment/ Université de Genève, Genf

Zusammenfassung: Im Projekt X3D4Pop wird untersucht, inwiefern Bildpaare, die an unterschiedlichen Tagen aufgenommen wurden, geeignet sind, um daraus brauchbare Höheninformation von Gebäuden in Städten abzuleiten. Darauf aufbauend wird getestet, wie stark die Abschätzung der Bevölkerungszahl von der Verfügbarkeit von 3D-Daten abhängt. Testgebiete sind Salzburg und Port-au-Prince. Als Referenz dienen aus LiDAR-Daten abgeleitete Höhenmodelle sowie gerasterte Bevölkerungsdaten von Statistik Austria. Ziel ist, die Arbeitsabläufe eines Services zur urbanen Bevölkerungsabschätzung basierend auf Fernerkundungsdaten für humanitäre Organisationen zu entwickeln.

Schlüsselwörter: Photogrammetrie, Satellitendaten, urban, Bevölkerungsabschätzung, Stereo-Modell, Geländemodell

Abstract: *In the project X3D4Pop we investigate if “mixed” satellite image pairs acquired on two different dates can be used to calculate meaningful building heights in urban areas. Based on these results, the dependency of urban population estimation models on the availability and quality of 3D data is tested. Study areas are Port-au-Prince and Salzburg. The 3D-models are validated against LiDAR-derived elevation models, population numbers are compared with rastered population data from Statistik Austria. The project explores first steps towards an urban population estimation service by remote sensing, for the humanitarian community.*

Keywords: *Photogrammetry, satellite, urban, population estimation*

1 Einführung

Bereits jetzt lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten, bis 2050 wird ein weiterer Anstieg auf 66 % erwartet. (United Nations, 2015). Dadurch erlangt der urbane Bereich auch für Hilfsorganisationen wie zum Beispiel Ärzte ohne Grenzen (MSF) immer mehr an Bedeutung. Für viele humanitäre Einsätze sind Abschätzungen der betroffenen Bevölkerung notwendig, doch in schnell wachsenden urbanen Gebieten sind herkömmlich erhobene Zählungen oft nicht aktuell. Fernerkundung kann zur Bevölkerungsabschätzung eingesetzt werden, in dem von der Anzahl der beobachteten Gebäude auf die Anzahl der Bewohner geschlossen wird. Diese Methode ist für ländliche Einsatzgebiete gut etabliert und wird von

Hilfsorganisationen routinemäßig eingesetzt (vgl. Lang et al., 2010; Tiede et al., 2013; Füreder et al., 2015a, b). Im urbanen Bereich kann die Höhe der Gebäude in die Abschätzung der Bevölkerung einbezogen werden, wofür 3D-Daten notwendig sind. Diese können aus Stereoaufnahmen von sehr hoch räumlich auflösenden optischen Satelliten errechnet werden, wofür jedoch zumeist speziell dafür aufgenommene Bildpaare verwendet werden. Derartige Bildpaare sind oftmals nicht in den Datenarchiven der kommerziellen Satellitendatenanbieter für die betroffenen Gebiete vorhanden, sodass bei plötzlich auftretenden Naturkatastrophen keine 3D-Daten zur Verfügung stehen.

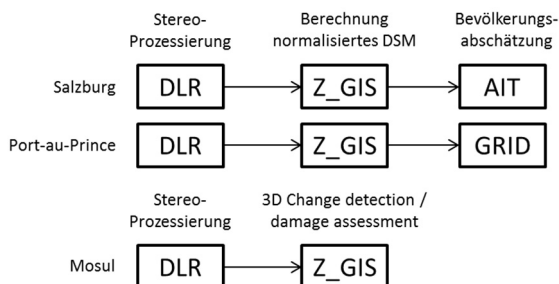


Abb. 1: Zusammenarbeit der internationalen Projektpartner für die verschiedenen Untersuchungsgebiete im Projekt X3D4Pop

Im Projekt X3D4Pop (*Suitability of mixed-satellite-sensor derived 3D data for rapid urban population estimation in crisis situations*), einer Sondierungsstudie unter Leitung des inter-fakultären Fachbereichs Geoinformatik – Z_GIS in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, dem AIT Austrian Institute of Technology und UN Environment/GRID Geneva (GRID) wurde daher getestet, in wie fern sich Stereopaare, deren Bilder nicht am selben Tag aufgenommen wurden (hier genannt „Cross-Stereomodelle“ oder „Mixed-Stereomodelle“), für die Berechnung von digitalen Höhenmodellen verwenden lassen, und wie sich die Qualität der Höhenmodelle auf die geschätzten Bevölkerungszahlen auswirkt. Erste Ergebnisse dieses Projekts werden hier vorgestellt. Abbildung 1 zeigt die Aufteilung der Arbeit zwischen den Projektpartnern. Es wurden zwei Testgebiete gewählt, Port-au-Prince in Haiti und Salzburg in Österreich. In einem dritten Testgebiet von der durch Kriegshandlungen stark beschädigten Stadt Mosul im Irak wurde die Eignung von Cross-Stereomodellen für eine schnelle Schadensabschätzung getestet.

2 Daten

Für diese Sondierungsstudie wurden ausschließlich Archivdaten verwendet. Eine Übersicht bietet Tabelle 1. Sämtliche Satellitendaten stammen von den Pleiades-Satelliten und umfassen Einzelaufnahmen als auch spezielle Stereo- und Tristereoaufnahmen. Zukünftig sind darüber hinaus auch Cross-Stereo-Modelle von Bildern von zwei unterschiedlichen VHR-Satelliten vorgesehen, beispielsweise Pleiades – WorldView-2. Die Auswahl der Bilder richtete sich nach der Verfügbarkeit von wolkenfreien Archivbildern. Der zeitliche Abstand zwi-

schen den Aufnahmen beträgt zwischen einem Tag und ca. drei Jahren. Für die Stereo-Prozessierung wurde jeweils der panchromatische Kanal verwendet.

Tabelle 1: Verwendete optische Satellitendaten

Port-au-Prince		
Sensor	Aufnahme datum	Mono/Stereo/Tristere
Pléiades	05.07.2013	Tristere
Pléiades	06.07.2013	Tristere
Pléiades	20.09.2014	Stereo
Pléiades	21.09.2014	Stereo
Pléiades	17.11.2014	Tristere
Pléiades	29.04.2015	Mono

Salzburg		
Sensor	Aufnahme datum	Mono/Stereo/Tristere
Pléiades	09.09.2012	Mono
Pléiades	12.10.2012	Mono
Pléiades	28.05.2013	Stereo
Pléiades	01.09.2015	Tristere
Pléiades	31.10.2015	Mono
Pléiades	01.11.2015	Mono

Mosul		
Sensor	Aufnahme datum	Mono/Stereo/Tristere
Pléiades	06.05.2016	Tristere
Pléiades	21.08.2017	Mono
Pléiades	04.09.2017	Mono

Für Port-au-Prince wurden 182 Bildpaarungen von 13 Aufnahmen von sechs verschiedenen Tagen gerechnet, für Salzburg 72 Paarungen aus neun Aufnahmen an sechs verschiedenen Tagen. Zur Validierung der Cross-Stereomodelle wurden die speziell zur 3D-Modell-Erstellung aufgenommenen Tristere-Aufnahmen verwendet. Diese stellen aktuell die beste verfügbare Grundlage für 3D-Daten aus Satellitenbildern dar. Des Weiteren wurden von flugzeuggestützten LiDAR-Daten abgeleitete Höhenmodelle verwendet, da diese Art von Daten die zurzeit besten 3D-Referenzdaten repräsentieren.

Für die Bevölkerungsabschätzung wurden als Zusatzdaten Straßen, Gebäudegrundrisse und Landnutzungszonierungen aus OpenStreetMap und anderen Quellen (z. B. Urban Atlas) verwendet. Zur Validierung standen im Fall von Salzburg gerasterte Bevölkerungsdaten auf der Grundlage des Einwohnermeldesystems zur Verfügung. Im Fall von Port-au-Prince waren keine Bevölkerungsdaten in entsprechender Qualität zur Validierung verfügbar, sodass nur relative Abschätzungen der einzelnen Modelle möglich waren.

3 Methodik

3.1 Ableitung von Höhenmodellen

Die Berechnung der digitalen Oberflächenmodelle erfolgte am Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR. Dabei wurde die am DLR entwickelte Softwareumgebung CATENA verwendet, dadurch konnten Anpassungen der Software an die speziellen Anforderungen dieser Aufgabenstellung vorgenommen werden. CATENA verwendet den am DLR entwickelten und über Jahre weiter optimierten Semi-Global-Matching Algorithmus (SGM; Hirschmüller, 2005; d'Angelo & Reinartz, 2011), während Photogrammetrie-Programme kommerzieller Anbieter lediglich die frei verfügbaren vereinfachten Versionen des SGM im-

plementieren. Zur Berechnung der Oberflächenmodelle steht am DLR ein Netzwerk von über 50 Servern mit über 320 einzelnen Prozessoren zur Verfügung, auf die ein Prozessierungsauftrag automatisch durch CATENA aufgeteilt wird.

3.2 Erstellung von normalisiertem Oberflächenmodell

Für die Berechnung der Gebäudehöhe wird ein normalisiertes Höhenmodell benötigt. Die meisten Methoden zur Ableitung eines solchen nDSM arbeiten mit unterschiedlichen Filtern auf dem Oberflächenmodell zur Erstellung eines Geländemodells, welches anschließend vom Oberflächenmodell subtrahiert wird (vgl. Meng et al., 2010; Ismail & Jaafar, 2013; Bagheri et al 2014). In diesem Projekt wurde eine objektbasierte Methode verwendet (Lüthje et al., 2014) und weiterentwickelt, die die spektrale Information der Bilder und kontextuelle Beziehungen von Bildobjekten zusätzlich zur reinen Höheninformation nutzt, um mögliche Bodenpunkte zu identifizieren.

3.3 Bevölkerungsabschätzung

Für die Bevölkerungsabschätzung wurden verschiedene Datenverfügbarkeitsszenarien definiert, die in einem tatsächlichen Anwendungsfall etwa im Rahmen einer humanitären Krise auftreten können. Beim Testgebiet Salzburg, das eine nahezu perfekte Datenlage aufweist, wurden sowohl Top-down-Ansätze verwendet, die auf räumlicher Disaggregation der Gesamtbevölkerung basieren, als auch Bottom-up-Ansätze. Im Fall von Port-au-Prince kam aufgrund der limitierten Datenverfügbarkeit nur eine Bottom-up-Methode infrage, die ausgehend von lokalen Bevölkerungsdichten die räumliche Verteilung schätzt.

4 Erste Ergebnisse

4.1 Cross-Stereo-Experimente

Die systematische Auswertung der über 250 Bildpaarungen in Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Sonneneinfallswinkel, Beobachtungswinkeln, dem Zustand der Vegetation etc. in den Ausgangsbildern auf die Qualität des abgeleiteten Höhenmodells dauert noch an. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich Einbußen in der Qualität feststellen lassen, sobald der zeitliche Abstand zwischen den Aufnahmen größer wird als ein Tag. Dennoch können unter günstigen Bedingungen auch aus Aufnahmen, die mehrere Tage auseinanderliegen, brauchbare Höhenmodelle abgeleitet werden. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt von Ost-Mosul im Irak. Abbildung 2a zeigt ein Pléiades-Bild vom 04. September 2017. Abbildung 2b zeigt die Abdeckung des aus Tristereoo-Aufnahmen vom 06. Mai 2015 abgeleiteten Höhenmodells vor der Interpolation (weiß = Daten, schwarz = Datenlücken). Die Abdeckung ist \pm vollständig, an Gebäudekanten sind einzelne Lücken erkennbar, die entweder durch Schatten oder Überdeckung durch das Gebäude erzeugt wurden. Abbildung 2c zeigt denselben Ausschnitt wie Abbildung 2b, jedoch mit dem Cross-Stereo-Höhenmodell vom 21. August und 04. September 2017. Auffällig sind die insgesamt auch sehr hohe Abdeckung, sowie etwas größere Datenlücken entlang der Straßen im Vergleich zum Tristerero-DEM.

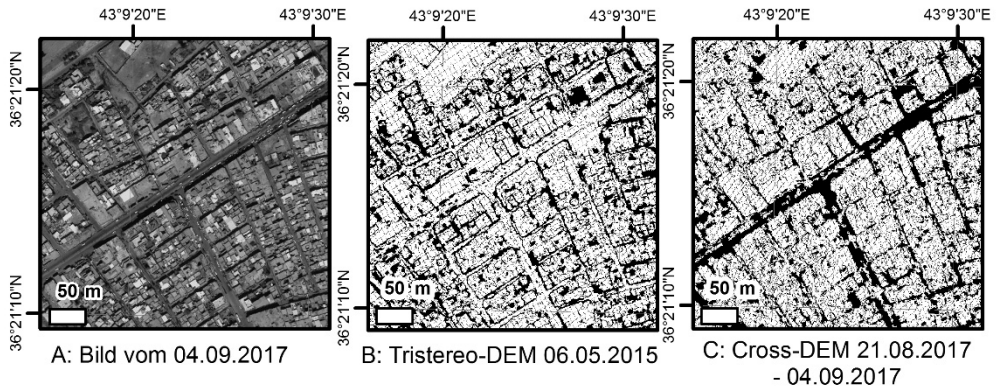


Abb. 2: Satellitenbild (A), Tristere-Dem- (B) und Cross-Stereo-Dem-Abdeckung (C) eines Ausschnitts von Mosul im Irak

4.2 Bevölkerungsabschätzungen

Das Testgebiet in Salzburg dient der Bewertung der Qualität der Bevölkerungsabschätzungen, da für dieses Gebiet Referenzdaten der Statistik Austria in Form eines 100-m-Bevölkerungsrasters vorliegen. Insgesamt wurden sechs Szenariogruppen berechnet, die sich durch unterschiedliche Datenverfügbarkeit unterscheiden. Die besten Ergebnisse der Top-down-Ansätze liefern Szenarien, die sich auf eine 3D-Modellierung von Gebäuden aus Pléiades Bilddaten und Gebäudeumrissen aus OSM stützen, in Kombination mit räumlicher Information über die Nutzung von Gebäuden. Da eine solche Datenlage in Schwellenländern nicht unbedingt gegeben ist, wurden auch alternative Szenarien berechnet, die sich auf global verfügbare Daten wie den GUF (Global Urban Footprint, Esch et al., 2011; Esch et al., 2017) stützen, in Kombination mit 3D-Gebäuden abgeleitet aus Pléiades-Bilddaten und visueller Interpretation von Nutzungsarten in einem großflächigen Kontext. Szenarien, die sich nur auf die zweidimensionale Repräsentation von Gebäuden stützen, liefern generell schlechtere Ergebnisse.

Da die Gesamtbevölkerung nicht immer in ausreichender Genauigkeit gegeben ist, wurde als alternativer Zugang auch ein Bottom-up-Szenario berechnet. Dieses Szenario geht davon aus, dass ähnliche Bebauungsstrukturen eine ähnliche Bevölkerungsdichte aufweisen. Sind diese Dichten bekannt – etwa aus Erhebungen – kann die Bevölkerung für die gesamte Stadt auf Basis der Bebauungsstrukturen hochgerechnet werden. Die Ergebnisse erreichen zwar nicht die Qualität der besten Top-down-Ansätze, sind aber besser als die einfachen Szenarien, die sich auf global verfügbare Daten stützen.

Im Fall von Port-au-Prince beschränkt sich die Datenverfügbarkeit auf das nDSM aus Pléiades-Stereodaten, Gebäudeumrisse aus OSM-Daten und rudimentäre Information zur Landnutzung aus dem Copernicus Emergency Management Service. Abgesehen vom nDSM sind die Daten auch nicht flächendeckend verfügbar. Auf Basis dieser Datensätze wurden verschiedene Szenarien der Bevölkerungsverteilung über einen Bottom-up-Ansatz entwickelt. Die resultierenden Bevölkerungszahlen sind grobe Schätzungen, da die Eingangsdaten einen hohen Grad an Unsicherheit aufweisen. Eine Bewertung der Ergebnisse ist ohne Begehung vor Ort nicht möglich.

5 Diskussion und Zusammenfassung

Die ersten Auswertungen der Cross-Stereo-Modelle zeigen, dass unter günstigen Bedingungen auch aus Bildpaarungen, die nicht speziell zur Höhenmodellableitung aufgenommen wurden, sinnvolle 3D-Daten abgeleitet werden können. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die kontrollierenden Faktoren zu bestimmen.

Die entwickelten Szenarien für das Testgebiet in Salzburg zeigen klar den Vorteil auf, der durch die Verfügbarkeit der aus den Pléiades-Daten abgeleiteten nDSM für die Bevölkerungsmodellierung gewonnen werden kann. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass zumindest eine grundlegende Information über die Nutzung von Stadtvierteln gegeben sein muss, da andernfalls alle Modellierungen unsichere Ergebnisse liefern. Für den Einsatz in weniger entwickelten Städten wird aufgrund der limitierten Datenlage zumeist ein Bottom-up Ansatz infrage kommen, der zwar nicht die Genauigkeiten der Top-down-Methoden erreicht, aber – eine repräsentative Erhebung von Bevölkerungsdichten vorausgesetzt – ausreichend genaue Ergebnisse liefern sollte.

Danksagung

Diese Sondierungsstudie wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG im Rahmen des *Austrian Space Applications Programme* ASAP teilfinanziert (ASAP 13, Projektnummer 859796), sowie vom Swiss Space Office SSO und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR.

Literatur

- Bagheri, H., Sadeghian, S., & Sadjadi, S. Y. (2014). The Assessment of using an Intelligent Algorithm for the Interpolation of Elevation in the DTM Generation. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, (3), 197–208.
- D'Angelo, P., & Reinartz, P. (2011). Semiglobal Matching Results on the ISPRS Stereo Matching Benchmark. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, 48(4W19), 79–84.
- Esch, T., Schenk, A., Ullmann, T., Thiel, M., Roth, A., & Dech, S. (2011). Characterization of Land Cover Types in TerraSAR-X Images by Combined Analysis of Speckle Statistics and Intensity Information. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6), 1911–1925. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2091644>.
- Esch, T., Heldens, W., Hirner, A., Keil, M., Marconcini, M., Roth, A., Zeidler, J., Dech, S., & Strano, E. (2017): Breaking new ground in mapping human settlements from space – The Global Urban Footprint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.012>.
- Euro-Maps 3D (2013): Retrieved October, 2016, from http://www.euomap.de/products/prod_008.html.

- Füreder, P., Lang, S., Rogenhofer, E., Tiede, D., & Papp, A. (2015a). Monitoring Displaced People in Crisis Situations Using Multi-temporal VHR Satellite Data During Humanitarian Operations in South Sudan. In: A. Car et al. (Eds.), *GI_Forum 1-2015 – Geospatial Minds for Society* (pp. 391–401). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Füreder, P., Lang, S., Hagenlocher, M., Tiede, D., Wendt, L., & Rogenhofer, E. (2015b). Earth observation and GIS to support humanitarian operations in refugee/IDP camps. *Proceedings of the ISCRAM 2015 Conference*, Kristiansand, Norway.
- Hirschmüller, H. (2005). Accurate and efficient stereo processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2 (pp. 807–814).
- Ismail, Z., & Jaafar, J. (2013). DEM derived from photogrammetric generated DSM using morphological filter. *Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), IEEE 4th*, Aug. 19 – 20, 2013, Shah Alam, (pp. 103–106).
doi: 10.1109/ICSGRC.2013.6653284.
- Lang, S., Tiede, D., Hölbling, D., Füreder, P., & Zeil, P. (2010). Earth observation (EO)-based ex post assessment of IDP camp evolution and population dynamics in Zam Zam, Darfur. *International Journal of Remote Sensing*, 31(21), 5709–5731.
- Lüthje, F., Tiede, D., & Eisank, C. (2014). Object-based DTM generation from VHR stereo imagery derived DSM data sets. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*, (3), 109–113.
- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, (2), 833–860.
- Tiede, D., Füreder, P., Lang, S., Hölbling, D., & Zeil, P. (2013). Automated Analysis of Satellite Imagery to provide Information Products for Humanitarian Relief Operations in Refugee Camps – from Scientific Development towards Operational Services. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, (3), 185–195.
- RIT – Rochester Institute of Technology Center for Imaging Science, Kucera International, ImageCat Inc., World Bank Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2010). *RIT Haiti Earthquake LiDAR dataset*. Retrieved April 9, 2018, from <http://opentopo.sdsc.edu/datasets?minX=-72.374&minY=18.498&maxX=-72.173&maxY=18.634>.
- United Nations (2015). *World Urbanization Prospects – The 2014 Revision*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York. Retrieved April 13, 2018, from <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>.
- Unosat (2017). *Damage Assessment of Old City, Mosul*. Ninawa Governorate, Iraq, 18.07.2017 (published 21.07.2017). Retrieved April 9, 2018, from http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/IQ/CE20140613IRQ/UNOSAT_A3_Old_City_points_damage_assessment_18July2017_Landscape.pdf.