

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: 3D-Gebäudeaufnahme mittels UAV-basierter Luftbilder

Autor: Sauerbier, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-346991>

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: 14.01.2026

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

3D-Gebäudeaufnahme mittels UAV-basierter Luftbilder

Dieser Artikel beschreibt die Evaluierung der photogrammetrischen Software ERDAS LPS 2011 im Hinblick auf die Auswertung kombinierter Senkrecht- und Schrägaufnahmen, wie sie z.B. für die 3D-Modellierung von Gebäuden erforderlich sind. Der gesamte Arbeitsablauf von der Flugplanung, Kamerakalibrierung, Aerotriangulation und Überprüfung der erzielten Genauigkeit wird im Folgenden erläutert und Verbesserungsvorschläge für künftige, ähnlich gelagerte Projekte werden diskutiert.

Cet article décrit l'évaluation du logiciel ERDAS LPS 2011 en vue d'une analyse de prises de photos combinées en modes vertical et incliné telles que nécessaires pour la modélisation 3D de bâtiments. Tout le déroulement du travail consistant en la planification du vol, le calibrage de la caméra, de l'aérotriangulation et de la vérification de la précision obtenue est décrit ci-après; de plus des propositions d'amélioration sont mises en discussion.

Quest'articolo presenta la valutazione del software fotogrammetrico ERDAS LPS 2011 in vista dell'apprezzamento delle riprese verticali e diagonali combinate, come imposto, per esempio, dalla modellazione 3D degli edifici. Qui di seguito viene descritta ogni fase di lavoro: pianificazione del volo, calibratura della telecamera, aerotriangolazione e verifica della precisione raggiunta. Segue pure un'analisi delle proposte di miglioramento per progetti futuri dello stesso tenore.

M. Sauerbier

Einleitung

UAV (Unmanned Aerial Vehicles) werden in den letzten Jahren vermehrt in verschiedenen Anwendungsbereichen der photogrammetrischen Datenerfassung in der Praxis eingesetzt. Sie kommen insbesondere bei der Volumenbestimmung von Kiesgruben und Deponien [5], archäologischer Dokumentation [2], hydrologischen Anwendungen und bei der Überwachung von Naturgefahren, wie z.B. Hangrutschungen, zum Einsatz und werden vor allem zur Erzeugung von Digitalen Geländemodellen genutzt [4]. Bisher befassen sich nur wenige Anwendungen mit der Modellierung von Gebäuden, wobei man anmerken muss, dass eine UAV-Befliegung eher für grosse und komplexe geformte Objekte in Frage kommt [1], während in den meisten Fällen eine terrestrische Aufnahme ausreichend ist. Andererseits befassen sich in der Forschung

eine ganze Reihe von Arbeiten mit der Modellierung von Gebäuden [3].

Zielsetzung des im Folgenden beschriebenen Projektes war die Evaluierung der Auswertung von Schrägaufnahmen mit der photogrammetrischen Software ERDAS Imagine LPS 2011. Unser Interesse galt dabei primär der gemeinsamen Orientierung dieser Bilder und des daraus folgenden Einflusses auf die Genauigkeit der Bildorientierungen. In Zusammenarbeit mit Armasuisse W+T wurde zu diesem Zweck das General-Herzog-Haus (GHH) mit einem UAV des Typs microdrones MD4-1000 und einer daran montierten Sony NEX-5N Systemkamera aufgenommen, Passpunkte wurden zusätzlich von Armasuisse W+T per GPS einge messen.

Flugplanung und UAV-Befliegung

Für die photogrammetrische Aufnahme wurde die Sony NEX-5N mit einem 16-

mm-Objektiv (fixe Brennweite) gewählt, da für diese Kamera ein Interface zum eingesetzten UAV besteht, der Autofokus abschaltbar ist sowie alle Einstellungen manuell vorgenommen werden können. Ausgehend von der gewählten Kamera wurde dann die Flugplanung mittels der Software mdCockpit Version 3 durchgeführt. Für die Planung der photogrammetrischen Flüge mussten folgende Bedingungen berücksichtigt werden:

- Aufgrund der Nähe zum Flugplatz Thun mit aktivem Flugbetrieb durfte nicht höher als 80 m über Grund geflogen werden.
- Das GHH besteht aus dem Hauptgebäude (ca. 30 m hoch) und einem angrenzenden Pavillon (ca. 10 m hoch). Um beide Gebäude mit etwa dem gleichen Bildmassstab aufzunehmen, unterteilten wir das Aufnahmegebiet in zwei Blöcke, wobei das Hauptgebäude mit 60 m Flughöhe und der Pavillon mit 40 m beflogen werden sollte.
- Die Fassaden beider Gebäude sollten komplett aufgenommen werden.
- Die zum Zeitpunkt der Aufnahme (Juli 2012) zur Verfügung stehende Akku-Kapazität beschränkte die einzelnen Flüge auf ca. 20 Minuten Flugdauer.

Im Rahmen der Flugplanung wurde folgende Konfiguration umgesetzt und als Flugroute auf das Speichersystem des UAV übertragen: Zunächst wurde für beide Gebäude jeweils ein traditionell mäanderförmiger Block mit 80% Längs- und Querüberlappung geplant, so dass die Gebäudedächer und die mit Passpunkten versehenen umliegenden Flächen in Senkrechtaufnahmen enthalten waren. Die jeweils zwei äusseren Streifen wurden mit Schrägaufnahmen zur Erfassung der Gebäudefassaden geplant, und zwar der innere Streifen mit 50° Kameraneigung bezogen auf die Horizontale und der äusseren Streifen mit 60°. Beide Blöcke sollten in West-Ost-Richtung beflogen werden.

Kamerakalibrierung

Die Kalibrierung der Kamera wurde seitens Armasuisse W+T direkt vor und nach der Befliegung mit Hilfe eines vor Ort an-

gelegten 3D-Testfeldes und der Software FOVEX (PhotoCore AG) vorgenommen. Die ermittelten Parameter (Tabelle 1) Kammerkonstante c , Koordinaten des Hauptpunktes x_0 , y_0 , Koeffizienten zur Verzeichnungskorrektur k_1 , k_2 , k_3 (radial) sowie p_1 , p_2 (tangential) wurden unter Verwendung des erweiterten Kamera-modells in LPS importiert.

Passpunkte

Als Passpunkte dienten überwiegend Gebäudecken und Fahrbahnmarkierungen, die weitestgehend gleichmässig im Projektgebiet angeordnet sind. Zusätzlich wurden einige Punkte durch Farbmarkierungen signalisiert, die Einmessung aller Passpunkte geschah anschliessend mittels GPS. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Passpunkte im Untersuchungsgebiet. Aufgrund von Abschattungen durch die umstehenden Gebäude muss von einer Genauigkeit der Passpunktmessungen von ca. 5 cm ausgegangen werden, was angesichts der Auflösung der Bilder im Objektraum von 2 cm keine optimale Ausgangslage darstellt.

Aerotriangulation

Um die Aerotriangulation zu beschleunigen, wurden zunächst die Koordinaten der Bildaufnahmepunkte und die räumlichen Drehwinkel der Kamera zum Aufnahmzeitpunkt für jedes Bild aus den während der Flüge aufgezeichneten Navigationsdaten importiert. Somit lagen initiale Näherungswerte für die Bildorientierungen

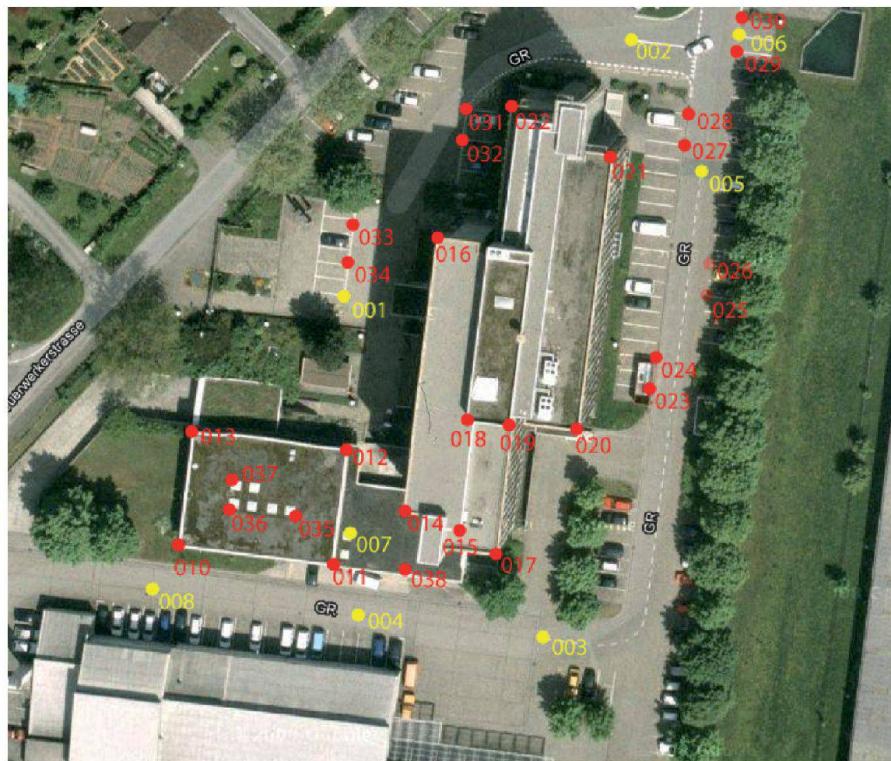


Abb. 1: Passpunktverteilung am General-Herzog-Haus und dem angrenzenden Pavillon.

vor, und eine automatische Messung der Verknüpfungspunkte konnte ohne weitere Vorarbeiten direkt ausgelöst werden. Nach erfolgter manueller Messung der Passpunkte in den Bildern wurden Verknüpfungspunkte zunächst in den beteiligten Senkrechtaufnahmen gemessen. Diese Messungen konnten erfolgreich automatisch in LPS, basierend auf der Methode der Kreuzkorrelation, durchgeführt werden. Um auch die Schrägaufnahmen zu orientieren, mussten in diesen die Verknüpfungspunkte überwiegend manuell gemessen werden. Ein kritischer Aspekt bei der Orientierung der Schrägaufnah-

men ist die Verwendung von in horizontaler Ausrichtung angebrachten Passpunkten, z.B. Bodenpunkten, insbesondere in den Fällen, in denen sie relativ weit vom Aufnahmepunkt entfernt sind. Da der Mittelpunkt der Signalisierung aufgrund der verzerrten Darstellung im Bild nicht sehr genau anmessbar ist, wird hierbei leicht eine Unsicherheit im Dezimeterbereich eingeführt, welche sich auf die Genauigkeit der Bildorientierungen und damit auch auf die Genauigkeit aller Stereomessungen auswirkt. Für die Bildblöcke „Pavillon“ und „GHH“ wurde eine Genauigkeit der Bildmessungen von $\sigma_0 = 4.3$ cm bzw. $\sigma_0 = 6.3$ cm erreicht, entsprechend etwa 2 bzw. 3 Pixel im Bildraum und damit um einen Faktor 2–3 geringer als bei der ausschliesslichen Verwendung von Senkrechtaufnahmen.

Messung der Referenzstrecken

Zur Überprüfung der erzielten Genauigkeiten wurden Referenzstrecken, die über die GPS-Koordinaten oder per Messband bestimmt worden waren, in verschiedenen Stereomodellen manuell gemessen und ein Soll-Ist-Vergleich angestellt.

Tab. 1: Kameraparameter nach erfolgreicher Kalibrierung.

Parameter	Einheit	Näherung	Schätzwert	Stdabw.	Verbesserung
c	mm	16	15.8963	0.00045349	-0.10369
x_0	mm	0	-0.127863	0.00055391	-0.127863
y_0	mm	0	0.19188	0.00047026	0.19188
k_1	mm ⁻²	0	-0.00026088	7.39E-07	-0.00026088
k_2	mm ⁻⁴	0	1.59E-06	9.23E-09	1.59E-06
k_3	mm ⁻⁶	0	-2.19E-10	3.46E-11	-2.19E-10
p_1	mm ⁻²	0	8.90E-05	8.30E-07	8.90E-05
p_2	mm ⁻²	0	-1.99E-05	7.04E-07	-1.99E-05

Die erzielten Resultate deuten darauf hin, dass die theoretisch zu erwartende Genauigkeit von ca. 1 Pixel im Bildraum, in unserem Fall entsprechend ca. 2 cm im Objektraum, nicht erreicht wurde.

Anhand der Referenzstreckenmessungen lässt sich erkennen, dass insbesondere in Ost-West-Richtung noch ein Einfluss der Unsicherheit der GPS-Messungen auf einigen Passpunkten aufzutreten scheint (vergleiche Strecken PP10-PP11 und PP12-PP13 in Tabelle 2). Auch die Restfehler in den Passpunkten nach der Bündelausgleichungen treten vor allem in Ost-West (X-) Richtung auf, was ebenfalls auf eine entsprechende Unsicherheit in den GPS-Messungen oder auf Fehler in Punktdefinitionen bzw. Bildmessungen der Passpunkte hindeuten könnte. Abhilfe könnten Passpunkte schaffen, die durch kugelförmige Targets signalisiert werden und aufgrund der Abschattungen tachymetrisch bestimmt werden sollten.

Fazit

Im Rahmen der durchgeföhrten Arbeiten konnte gezeigt werden, dass es grundsätzlich möglich ist, in ERDAS LPS Schrägaufnahmen und Senkrechtaufnahmen gemeinsam zu orientieren und in diesen Bildern stereoskopisch auszuwerten (Abb. 2).

Um eine hohe Genauigkeit zu erzielen,

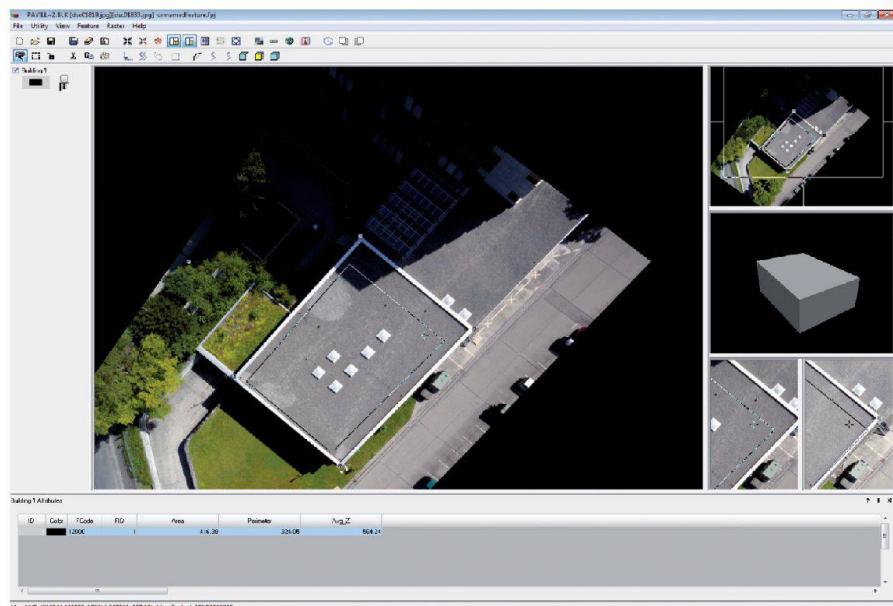


Abb. 2: Stereoskopische Messung des Gebäudes im LPS Stereo Analyst.

muss jedoch die Signalisierung der Passpunkte an die besonderen Gegebenheiten bei Schrägaufnahmen angepasst werden. Die Messung der Verknüpfungspunkte in den Schrägaufnahmen funktioniert nur bedingt automatisch, manuelle Messungen lassen sich mit dem derzeit eingesetzten, auf der Methode der Kreuzkorrelation basierenden, Algorithmus nicht vermeiden. Eine Berücksichtigung der perspektivischen Verzerrung bei der automatischen Verknüpfungspunktmessung wäre hierbei wünschenswert, um die Robustheit des Matchings zu steigern.

Literatur:

- [1] Eisenbeiss, H., Sauerbier, M., Püschel, H., 2008. Kombinierte Auswertung von terrestrischen und UAV-Bildern für die 3D-Modellierung des Schlosses Landenberg. Geomatik Schweiz, 2008, 9, S. 470–473.
- [2] Gruen, A., Zhang, Z., Eisenbeiss, H., 2012. UAV Photogrammetry in remote areas – 3D modelling of Drapham Dzong Bhutan. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIX-B1, S. 375–379.
- [3] Küng, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J.-C., Floreano, D., Fua, P., Gervais, F., 2011. Simplified Building Models Extraction from Ultra-Light UAV Imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22, S. 125–130.
- [4] Rosnell, T., Honkavaara, E., 2012. Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadrocopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle and a Digital Still Camera. Sensors, 2012, 12, S. 453–480.
- [5] Sauerbier, M., Siegrist, E., Eisenbeiss, H., Demir, N., 2011. The Practical Application of UAV-based Photogrammetry under Economic Aspects. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22, S. 45–50.

Tab. 2: Soll-Ist-Vergleich der gemessenen Referenzstrecken am Pavillon.

Strecke	Ist [m]	Soll [m]	Δs [m]
PP4 – PP8	32.423	32.468	0.045
PP10 – PP11	24.193	24.342	0.149
PP10 – PP13	18.357	18.36	0.003
PP11 – PP12	18.397	18.373	-0.024
PP12 – PP13	24.254	24.356	0.102

Tab. 3: Soll-Ist-Vergleich der gemessenen Referenzstrecken am GHH.

Martin Sauerbier
MFB-GeoConsulting GmbH
Eichholzstrasse 23
CH-3254 Messen
sauerbier@mfb-geo.com