

Mit dem Modellhelikopter über Pinchango Alto

In den letzten Jahren haben Modellhelikopter (UAVs, Unmanned Aerial Vehicles) in der Luftbildphotogrammetrie gegenüber anderen Aufnahmeplattformen an Bedeutung gewonnen. Modellhelikopter existieren schon seit etwa 25 Jahren, jedoch haben aktuelle Entwicklungen in der Flugsteuerung, der GPS/INS basierenden Navigation und in der Bildverarbeitung dazu geführt, dass sie in verschiedenen Anwendungsbereichen erfolgreich eingesetzt wurden (Militär, Precision Farming, Archäologie).

In Pinchango Alto (Peru) wurde ein UAV-Modellhelikopter der Firma weControl in Kombination mit terrestrischem Laserscanning zum Zweck der archäologischen Dokumentation einer prä-inkaischen Siedlung verwendet. Der Helikopter ist mit einem GPS/INS-basierten Navigationssystem ausgestattet, welches das autonome Abfliegen vordefinierter Flugrouten ermöglicht. Eine stabilisierte Plattform sorgt für eine präzise Bildaufnahme, welche mit einer handelsüblichen Digitalkamera (Canon D60) durchgeführt wurde. Die digitalen Bilder wurden photogrammetrisch ausgewertet und anschliessend ein Höhenmodell und Orthophoto generiert. Für Visualisierungszwecke wurde ein virtueller Überflug über das texturierte 3D-Modell von Pinchango Alto erzeugt. Mit dem autonom fliegenden Modellhelikopter konnte die komplette Siedlung innerhalb eines Tages unter erschwerten Bedingungen aufgenommen werden. Mit diesem Pilotprojekt wurde das grosse Potenzial von UAV-Systemen in Kombination mit handelsüblichen Digitalkameras im Hinblick auf kostengünstige Anwendungen in der Photogrammetrie aufgezeigt. Hierbei handelt es sich um eine interessante Alternative zu einer Befliegung mit einer grossformatigen professionellen Luftbildkamera. Unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zielen in Richtung einer vollständig automatisierten Auswertung im Felde (Online Prozessierung).

Ces dernières années, des hélicoptères modèles (UAVs, Unmanned Aerial Vehicles) ont gagné en importance dans la photogrammétrie aérienne par rapport aux autres plateformes de saisie. Des hélicoptères modèles existent depuis environ 25 ans, cependant les nouveaux développements dans la conduite du vol, la navigation basée sur GPS/INS et dans le traitement des images ont permis de les utiliser avec succès dans plusieurs domaines d'application (militaire, precision farming, archéologie).

A Pinchango Alto (Pérou) un hélicoptère modèle UAV de la maison weControl, en combinaison avec un scannage laser terrestre a été utilisé aux fins d'une documentation archéologique d'un site pré-Inca. L'hélicoptère est équipé d'un système de navigation basé sur GPS/INS qui permet de voler de façon autonome sur des tracés aériens prédéfinis. Une plate-forme stabilisée assure une prise de vue précise qui a été exécutée avec une caméra numérique commerciale (Canon D60). Les photos numériques ont été traitées par voie photogramétrique permettant par la suite de créer un modèle altimétrique et une orthophoto. A des fins de visualisation, un survol virtuel sur le modèle texturé 3D de Pinchango Alto a été généré. Avec cet hélicoptère modèle volant de façon autonome, le site complet a pu être levé sous conditions difficiles, en une journée. Avec ce projet pilote, le grand potentiel de système UAV, combiné avec des caméras digitales commerciales, a été démontré en vue d'une application économique de la photogrammétrie. Il s'agit-là d'une alternative intéressante par rapport à un vol aérien avec une caméra aérienne professionnelle de grand format. Nos travaux de recherches et de développements sont menés dans l'intention d'un traitement complètement automatisé dans le terrain (online processing).

H. Eisenbeiss, M. Sauerbier, L. Zhang,
A. Grün

1. Einleitung

Photogrammetrische Aufnahmesysteme für die Erfassung von Objekten/Gebieten, welche eine Grösse von 0.01 Hektar bis 10 Hektar haben, sollten folgende Anforderungen erfüllen. Die Aufnahme sollte präzise und innerhalb eines kurzen Zeitraums erfolgen. Die Aufnahmekonfiguration sollte zur Erfassung komplexer Strukturen geeignet sein. Eine Forderung an das Auswertesystem wäre, dass die produzierten Daten einfach und schnell so verarbeitet werden können, dass die Daten während der Feldarbeiten bereits auf Vollständigkeit und grobe Fehler überprüft und erste Derivate abgeleitet werden können (Online Prozessierung).

Mittels Laserscanning kann ein Gebiet in relativ kurzer Zeit und mit hoher Punktdichte erfasst werden. Die Effizienz eines Laserscanners ist jedoch unter anderem abhängig von der Einsehbarkeit des Objekts. Um feine Strukturen detektieren, interpretieren und messen zu können, werden Bilder mit hoher Auflösung benötigt. Bildaufnahmen vom Boden sind immer durch ihre Aufnahmeperspektive begrenzt. Daher ist ein System vorzuziehen, welches sich in der Luft möglichst nah an das aufzunehmende Objekt bewegen, die Blickrichtung variieren und flexibel navigieren kann (vgl. Abb. 1). Modellhelikopter bieten diese Möglichkeit. Bis vor wenigen Jahren wurden Modellhelikopter nur ohne GPS/INS-gestützte Navigation für photogrammetrische Auswertungen eingesetzt und waren daher immer auf die Bedienung durch geschulte Piloten angewiesen. Die neuesten technischen Entwicklungen⁶ erlauben den Einbau so genannter Low-Cost-Navigationssysteme und bieten dadurch die Möglichkeit, vorher definierte Positionen präzise anzufliegen.^{1, 2}

Im Rahmen eines vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten archäologischen Projektes NTG (Neue Technologien in den

Negli ultimi anni i modellini di elicotteri (UAV, Unmanned Aerial Vehicles) hanno acquisito, rispetto ad altri sistemi di rilevamento, rilevanza nella fotogrammetria delle riprese aeree. I modellini di elicotteri esistono già da circa 25 anni e gli attuali sviluppi nel comando di volo, nella navigazione GPS/INS e nell'elaborazione delle immagini hanno permesso di impiegarli con successo in vari campi d'applicazione (militare, precisione, agricoltura, archeologia).

A Pinchango Alto (Perú) si è utilizzato un modellino di elicottero UAV della weControl, abbinato a uno scanner a laser terrestre, per realizzare una documentazione archeologica di un insediamento pre-incaico. L'elicottero è stato dotato di un sistema di navigazione GPS/INS che consente il sorvolo autonomo di rotte di volo predefinite. Una piattaforma stabilizzata assicura una precisa ripresa di immagini con una comune fotocamera digitale Canon D60. Le foto digitali sono valutate dal punto di vista fotogrammetrico e successivamente si passa a realizzare un modello altimetrico e le ortofoto. A scopo di visualizzazione si è generato un sorvolo virtuale sul modello tridimensionale di Pinchango Alto. In una sola giornata, con il modellino di elicottero a volo autonomo è stato possibile riprendere tutto l'insediamento in presenza di condizioni difficili. Questo progetto pilota ha dimostrato l'enorme potenziale, offerto dai sistemi UAV abbinati alle comuni fotocamere digitali, per pervenire ad applicazioni vantaggiose in fotogrammetria. Si tratta di un'interessante alternativa ai voli con grosse fotocamere professionali per le riprese aeree. I nostri lavori di ricerca e sviluppo mirano a pervenire a una valutazione completamente automatizzata sul terreno (elaborazione online).

Geisteswissenschaften) sollte erstmals ein UAV-System zur Aufnahme und 3D-Modellierung einer archäologischen Fundstätte eingesetzt werden. Als Objekt wurde Pinchango Alto, eine prä-inkaische Siedlung in der Nähe von Nasca/Palpa, Peru ausgewählt. Diese steht in enger geographischer Beziehung zu unserem Projekt der 3D-Modellierung und Analyse der Geoglyphen von Nasca und Palpa⁵.

Das Navigationssystem des Helikopters, mit dem wir unser Pilotprojekt durchführten, ist eine Entwicklung der Firma weControl⁷ (Spin-off der ETH Zürich). Die Testflüge in der Schweiz und die Aufnahmen in Peru wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Helicam durchgeführt.

Das in den Modellhelikopter integrierte GPS/INS-System diente bei unserem Pilotprojekt für die Navigation und zur Näherungsbestimmung für die Triangulation der Bilder. Der Operateur kann mittels der Steuerungssoftware Sollpositionen definieren, die der Helikopter anfliegt. Für die photogrammetrische Bildakquisition wurde eine Software für die Flugplanung entwickelt, welche eine Datei mit Aufnahmepositionen für die Flugplanung erzeugt. Die so entstandenen Flugpfade werden mittels Da-

tenfunk an die Onboard-Steuerung des Modellhelikopters übertragen und autonom angefliegen. Am vordefinierten Punkt angekommen, wird die Flugregelung ständig angepasst, so dass die Position stabil, in Abhängigkeit der GPS/INS-Genauigkeit, eingehalten werden kann. Mit Hilfe des an Bord angebrachten Stabilisators werden ausserdem die Eigenschwingungen des Helikopters kompensiert. Der Helikopter eignet sich aus die-

sem Grund besonders für die Aufnahme von Senkrechtluftbildern zur photogrammetrischen Auswertung und Fassaden-aufnahmen von unzugänglichen Objekten.

2. Akquisition der Bilddaten

Die prä-inkaische Siedlung Pinchango Alto liegt 3 km im Norden der Stadt Palpa (Peru), auf dem verlängerten Gebirgsrücken des Cerro Pinchango. Pinchango Alto ist umgeben von steilen Schluchten, die den Zugang zum Plateau erschweren. Das Siedlungsgebiet von Pinchango Alto hat eine Fläche von 200 x 300 m². Die Gemäuer bestehen aus unbearbeiteten Steinen und sind zum grossen Teil eingefallen. Im besterhaltenen Teil der Siedlung weisen die Mauerwerke noch eine Höhe von 1.5 m auf. Diese Besonderheiten von Pinchango Alto gegenüber vergleichbaren Siedlungen führte uns dazu, die Siedlung für unser Pilotprojekt mit dem Modellhelikopter auszuwählen.

Für die Aufnahme des Objektes benutzen wir die digitale CMOS-Kamera Canon D60 mit Weitwinkelobjektiv. Zur Planung der Befliegung von Pinchango Alto wurde ein Programm zur Berechnung der Flugplanung für Modellhelikopter am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich entwickelt. Unter Berücksichti-

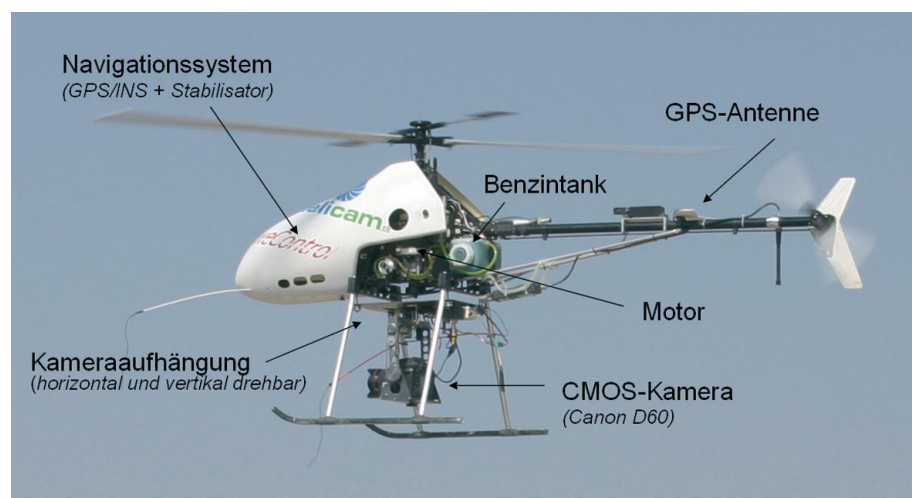


Abb. 1: Modellhelikopter der Firma Helicam. Das Fluggerät ist mit einem GPS/INS-basierten Flugregelungssystem, einem Stabilisator, einer Still-Video- und einer Videokamera ausgestattet.

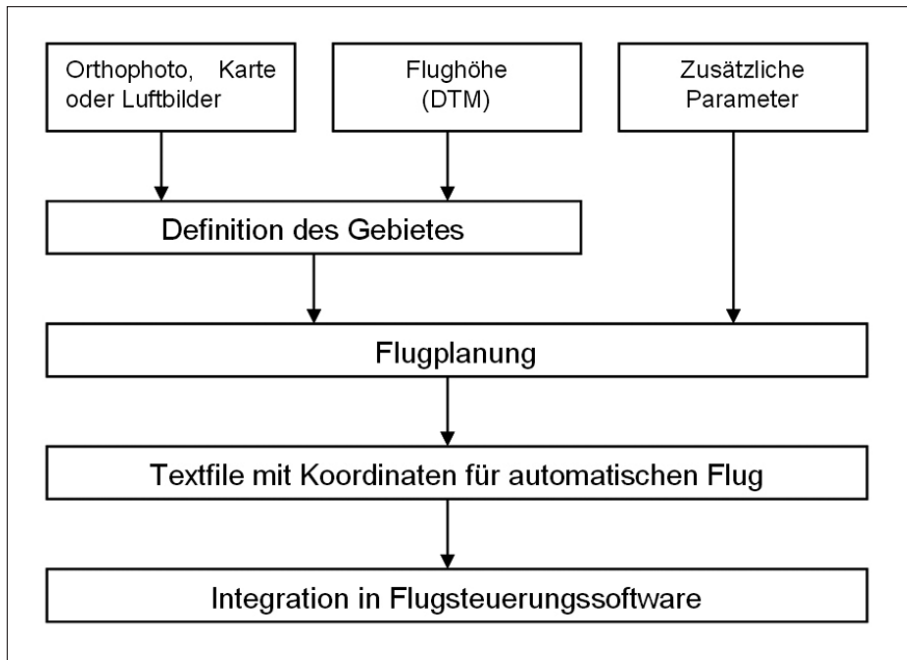


Abb. 2: Flugplanung – Flussdiagramm der Arbeitsprozesse.

sichtigung verschiedener Parameter, wie Kammerkonstante bei Verwendung unterschiedlicher Objektive, angestrebter Bildmassstab, Bildformat der Kamera, Flughöhe, Höhenmodell und der Begrenzung des Gebietes, können die Koordinaten der Aufnahmepunkte berechnet werden (vgl. Abb. 2).²

Diese Aufnahmepunkte wurden als Stoppunkte für den Helikopter definiert, an denen die Bildaufnahme per Fernauslösung durchgeführt wurde. Auf eine automatische Auslösung wurde verzichtet, um den Bildausschnitt visuell kontrollieren zu können. Die Flughöhe des Modellhelikopters während der Aufnahme wurde entsprechend dem gewünschten Bildmassstab (1:4000) und der Kamera-konstante ($c = 14 \text{ mm}$) auf 56 m über Grund festgesetzt. Die im Vorfeld berechneten Flugparameter wurden in die Flugsteuerungssoftware weGCS (weControl Ground Control Station software) eingegeben (vgl. Abb. 3).⁷

Der Helikopterflug wurde von einem Piloten und einem Operateur kontrolliert. Aufgrund des bewegten Terrains wurden Start und Landung manuell vom Piloten gesteuert. Nachdem der Helikopter eine vorher definierte Höhe erreicht hatte, wurde die Kontrolle dem Operateur über-

geben, welcher den Helikopter mit der Flugsteuerungssoftware vom Laptop aus kontrollieren und navigieren konnte. Der Operateur hat die Möglichkeit, den Helikopter im «Assisted mode» zu bewegen oder eine vordefinierte Flugmission zu laden. Während des Fluges kann der Operateur die Position in der Karte anhand von Koordinaten oder visuell mittels des übertragenen Videosignals überprüfen. Weiterhin zeigen die Kontrolllampen dem Operateur den Status von GPS, Datenlink zum Helikopter, Benzinfüllstand und Batterien an. Während der Flugzeit von 15–20 Minuten konnten in Pinchango Alto 20 bis 30 Bilder aufgenommen werden. Dies ist eine erhebliche Einschränkung der Operabilität. In zukünftigen Projekten soll daher ein Modellhelikopter mit stärkerem Motor und grösserem Tank eingesetzt werden, der eine höhere Traglast und längere Flugzeit erlaubt.

Trotz dieser Einschränkung konnten wir in Pinchango Alto 95 Prozent des Gebietes innerhalb eines Tages aufnehmen. Am zweiten Tag der Befliegung stürzte der Modellhelikopter aufgrund verschmutzten Benzins ab, wodurch die Komplettbefliegung des Gebietes unmöglich wurde. Aus Zeitgründen konnte der entstandene Schaden nicht mehr vor Ort be-

hoben werden. Es ist aber hervorzuheben, dass fast das gesamte Gebiet innerhalb von nur einem Tag mit einer Bodenauflösung von 3 cm und einer Überdeckung der Bilder in Längs- und Querrichtung von 75% aufgenommen werden konnte.²

3. Photogrammetrischer Arbeitsfluss

Für die Orientierung der digital vorliegenden 85 Bilder wurde die Auswertesoftware Leica Photogrammetry Suite (LPS Core) in Kombination mit dem in unserer Gruppe entwickelten Bündelblockausgleichungsprogramm BUN eingesetzt. Abbildung 4 verdeutlicht den Ablauf der photogrammetrischen Auswertung bis hin zur Ableitung der Folgeprodukte DOM, Orthophoto und texturiertes 3D-Modell.

Zunächst wurden die Bilder sowie zusätzliche Informationen (Kameradaten, Passpunktkoordinaten, Koordinaten der Projektionszentren) eingelesen und die Bildpyramiden berechnet. Anschliessend wurden homologe Punkte manuell gemessen, um Näherungswerte für automatische Bestimmung der Verknüpfungspunkte zu erhalten.² Bei der automatischen Messung der Verknüpfungspunkte ergab sich besonders in Gebieten mit starker Geländeneigung eine grosse Anzahl grober Fehler. Nach Messung der Passpunkte wurde dann jeweils in LPS und BUN die Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung berechnet. Dieser Schritt wurde iterativ durchgeführt, um möglichst alle groben Fehler detektieren und bereinigen zu können. Hier ist anzumerken, dass mittels BUN eine bessere Detektion der groben Fehler möglich war als mit LPS. Mit dem Ausgleichsmodul von LPS konnte ein RMSE von zwei Pixel erzielt werden, während die Ausgleichung mit Selbstkalibrierung in BUN einen RMSE von 1/3 Pixel ergab. Mit den nun orientierten Bildern wurde unter Verwendung einer weiteren in unserer Gruppe entwickelten Software, SAT-PP⁴, automatisch ein digitales Oberflächenmodell (DOM) erzeugt.

Das hierbei verwendete Matching-Verfahren stellt eine Kombination verschiedener Algorithmen dar, die die Vorteile von merkmals- und flächenbasierten, lokalen und globalen Verfahren ausnutzen. Weiterhin kann das Matching homologer Punkte simultan in mehr als zwei Bildern durchgeführt werden. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens findet sich bei Zhang⁸. Nach der Prozessierung des Matchings ergaben sich sowohl Massenpunkte als auch Linienelemente, die als Bruchkanten zur Modellierung des Mauerwerks geeignet waren. Diese wurden dazu verwendet, ein regelmässiges Raster mit einer Gitterweite von 20 cm für das Gesamtgebiet mit dem Softwarepaket SAT-PP zu interpolieren. Mit Hilfe dieses DOM wurde unter Verwendung der LPS-Software ein Orthophoto mit einer Bodenauflösung von 3 cm erzeugt². Für die Visualisierung des hybriden 3D-Modells, bestehend aus dem DOM mit Orthophoto-Textur, wurden zum einen ArcScene (ESRI) zur Echtzeitnavigation sowie Maya (Wavefront) zur Produktion virtueller Überflüge verwendet. Zur Optimierung der Textur speziell auf annähernd senkrechten Flächen sollen in Zukunft zusätzlich Schrägaufnahmen verwendet werden. Auf diese Weise kann ein 3D-Modell mit optimaler Textur, abhängig von der jeweiligen Blickrichtung des Betrachters (view dependent texture mapping), generiert werden.

4. Analysen und Schlussfolgerungen

Zur Genauigkeitsanalyse wurde ein Vergleich des mittels der UAV-Bilder generierten DOM mit einem aus terrestrischem Laserscanning abgeleiteten DOM vorgenommen. Im Zuge der Feldarbeiten in Pinchango Alto im September 2004 wurde das Untersuchungsgebiet durch die Firma Riegli Measurement Systems (Österreich) mit einem Laserscanner Riegli LMS-Z4201 unter Benutzung von 60 Stationen aufgenommen und ein DOM mit einer Gitterweite von 20 cm aus den Messungen abgeleitet.³ Ein Vergleich beider Höhen-

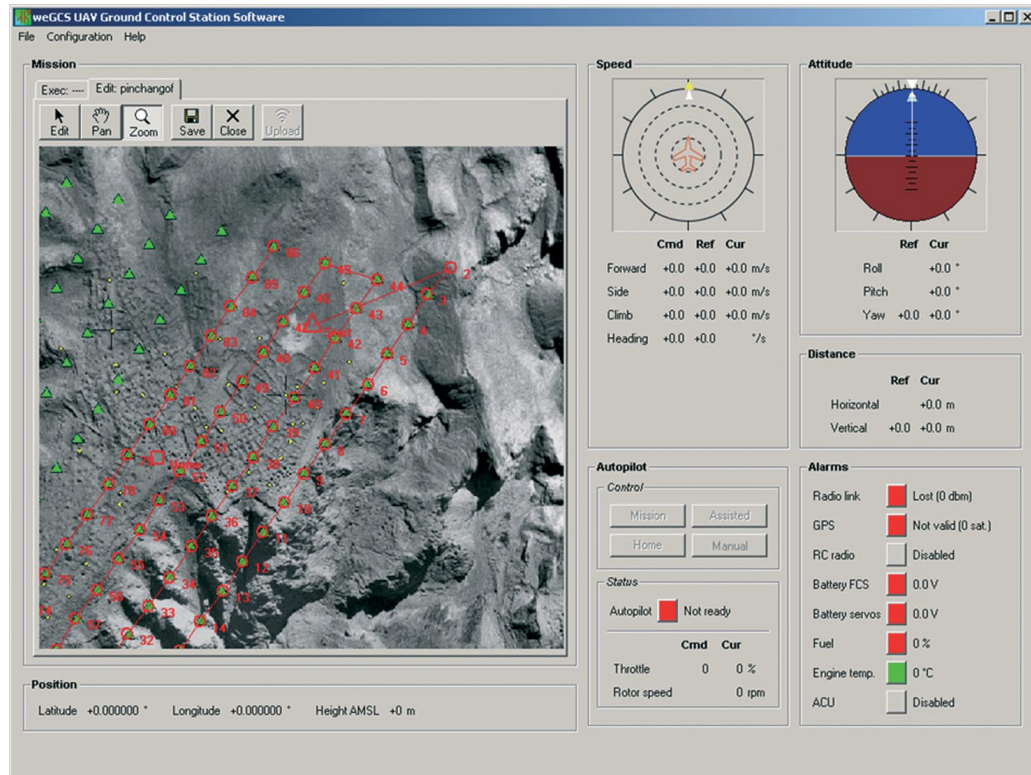


Abb. 3: Benutzeroberfläche der Flugsteuerungssoftware weGCS mit dem geladenen Flugpfad über Pinchango Alto (Peru).

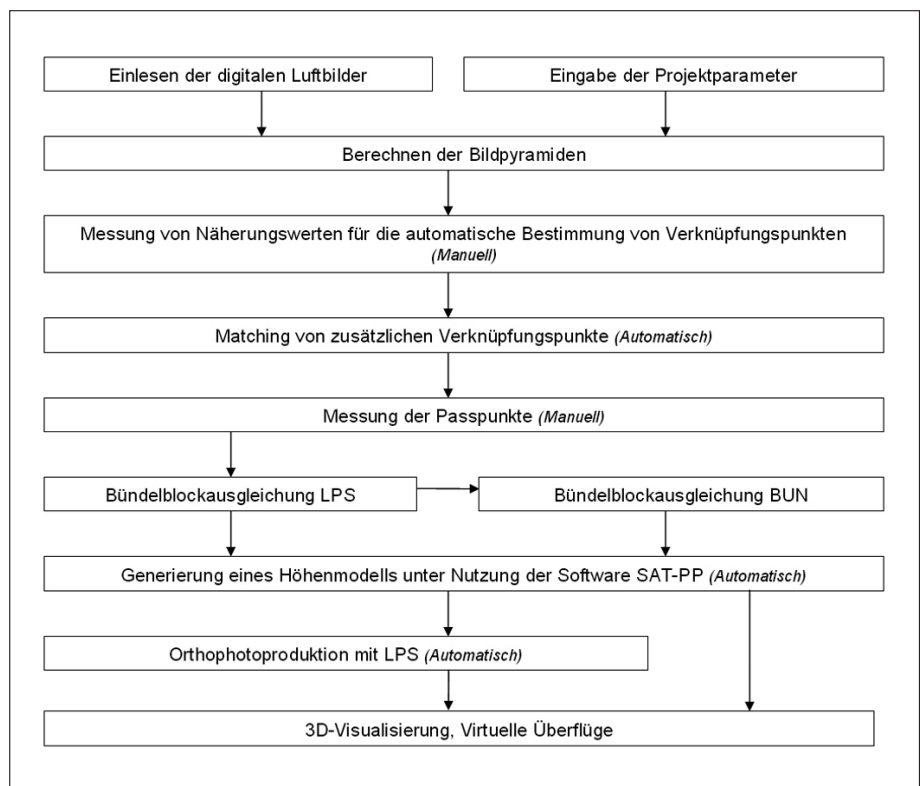


Abb. 4: Photogrammetrische Arbeitsschritte bei der Auswertung der UAV-Bilder.

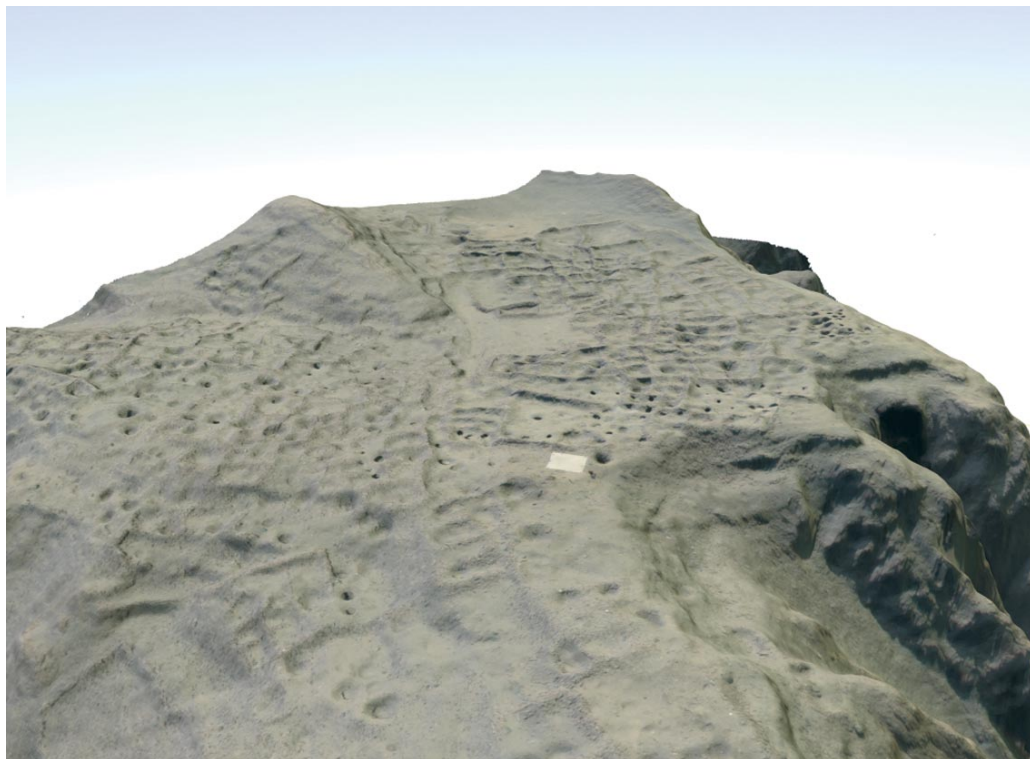


Abb. 5: Momentaufnahme aus einem virtuellen Flug über das 3D-Modell von Pinchango Alto. Im Zentrum die weisse Plane, die als Start- und Landefläche für den Modellhelikopter diente.

modelle mit der 3D-Modellierungssoftware Geomagic Studio (Raindrop Geomagic Inc.) ergab eine mittlere Höhendifferenz (Bias) von 9 cm und einem RMSE von 19 cm für den Bereich des besterhaltenen Teils der Siedlung. Der Maximalfehler beträgt weniger als 1 m und tritt im stark geneigten Gelände ausserhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets auf. Generell konnte eine gute Übereinstimmung beider Oberflächenmodelle festgestellt werden. Die Differenzen zwischen den Datensätzen resultieren vorwiegend aus Verdeckungen und den unterschiedlichen Perspektiven von Laserscanner und Helikopter-Kamera. Es ist im Einzelfall nicht eindeutig, welcher Teil des Gesamtfehlers dem einen oder dem anderen Verfahren zuzuordnen ist.

Bei der Orthophotoproduktion zeigte sich, dass nur der zentrale Teil des jeweiligen Bildes verwendet werden konnte, da besonders in den Randgebieten der Bilder Farbverschiebungen zu erkennen waren. Die Unterschiede in den einzelnen Farbkanälen betrug am Bildrand bis zu

fünf Pixel. Die grossen Verzeichnungen traten besonders durch das verwendete Weitwinkelobjektiv auf. Ein Objektiv mit grösserer Brennweite konnte nicht verwendet werden, da durch die Begrenzung der maximalen Flughöhe in Pinchango von 80 m über Grund der geforderte Massstab nicht mehr eingehalten werden konnte. In folgenden Arbeiten sollen Objektiv höherer Qualität verwendet oder die Kamerakalibrierung separat für jeden Farbkanal durchgeführt werden.

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass das eingesetzte System, die Kombination aus autonom navigierender, GPS/INS kontrollierter Modellhelikopter-Plattform mit einer handelsüblichen Stillvideo-Kamera, das Potenzial zu einem effizienten und hochgenauen System zur Bildakquisition für photogrammetrische Projekte besitzt. Besonders Objekte mittlerer Grösse, wie in diesem Fall die präinkaische Siedlung Pinchango Alto mit einer Ausdehnung von ca. 200 x 300 m², lassen sich in kurzer Zeit erfassen. Forschungs- und Entwicklungsbedarf sehen

wir insbesondere im Bereich einer technischen Weiterentwicklung der Plattform (grösserer Tank, höhere Traglast), der Flugplanungssoftware und der Automatisierung der Datenverarbeitung. Derzeit entwickeln wir eine Lösung, die es uns erlauben soll, direkt nach der Aufnahme erste Auswertergebnisse für einen Qualitätscheck der Daten zu erhalten.

Ein Fernziel ist die Gesamtprozessierung vor Ort im Online-Verfahren. Dies ist im Falle nicht allzugrosser Datensätze und unter weiteren Voraussetzungen durchaus keine Utopie. Hinsichtlich der Automatisierung von Aerotriangulation und DOM-Generierung können kommerzielle photogrammetrische Softwarepakete heute noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern. Hier liegen Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit noch nicht im Bereich des mit manuellen Messungen Erreichbaren.

Für das Forschungsprojekt Pinchango Alto ergeben sich in der Zukunft noch Arbeiten bezüglich der Integration der Laser- und Helikopterbilddaten, der Kombination der einzelnen Laserscans zu einem Gesamtmodell ohne Verwendung von signalisierten Verknüpfungspunkten sowie der archäologischen Analyse der Architektur der Siedlung. Mit den gewonnenen Datensätzen steht für die Archäologen eine hochauflösende und hochwertige 3D-Dokumentation der präinkaischen Siedlung Pinchango Alto zur Verfügung.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Firma Riegl Measurement Systems (Österreich) für die Zusammenarbeit bei der Aufnahme des Gebietes Pinchango Alto mittels Laserscanner. Wir bedanken uns ebenfalls für die Unterstützung bei den Testflügen in der Schweiz sowie den Arbeiten in Lima und Palpa (Peru) bei Karsten Lambers, Fausto Jacinto, den Firmen Helicam und weControl. Das Projekt Pinchango Alto wurde durch das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn ermöglicht.

Photogrammetrie/Fernerkundung

Literatur:

- ¹ Eisenbeiss, H., 2003. Diplomarbeit: Positions- und Orientierungsbestimmung eines autonomen Helikopters – Vergleich zwischen direkter Georeferenzierung und Aerotriangulation mit Videobilddaten, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden.
- ² Eisenbeiss, H., Lambers, K. & Sauerbier, M., 2005. Photogrammetric recording of the archaeological site of Pinchango Alto (Palpa, Peru) using a mini helicopter (UAV), In Proc. of the 33rd CAA Conference, Tomar, Portugal, 21–24 March 2005 (in press).
- ³ Gaisecker, Th., 2005. Pinchango Alto – 3D archaeology documentation using the hybrid 3D laser scan system of Riegl, In Gruen, A., Van Gool, L., Baltsavias, E. (eds.), Proc. of the International Workshop on «Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage», Ascona, Switzerland, 22–27 May 2005. Rotterdam: Balkema (in press).
- ⁴ Gruen, A., Zhang, L., Eisenbeiss, H., 2005. 3D Precision Processing of High Resolution Satellite Imagery, ASPRS 2005 Annual Conference, Baltimore, USA, 7–11 March 2005.
- ⁵ Reindel, M., Gruen, A., 2005. The Nasca-Palpa project: a cooperative approach of archaeology, archaeometry and photogrammetry, In Gruen, A., Van Gool, L., Baltsavias, E. (eds.), Proc. of the International Workshop on «Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage», Ascona, Switzerland, 22–27 May 2005. Rotterdam: Balkema (in press).
- ⁶ UVS, 2005. UVS International. www.uvs-international.org (accessed 28 May 2005).
- ⁷ weControl, 2005. weControl. www.wecontrol.ch (accessed 28 May 2005).
- ⁸ Zhang, L., 2005. Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images, PhD Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland.

H. Eisenbeiss
M. Sauerbier
L. Zhang
A. Grün
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich
(ehenri, msb, zhangl, agruen)@
geod.baug.ethz.ch