Effiziente hochaufgelöste 3D-Erfassung und -Modellierung des Schaffhauser Munots

Autor(en): **Matti, E. / Nebiker, S. / Deuber, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **112 (2014)**

Heft 9

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-389510

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Effiziente hochaufgelöste 3D-Erfassung und -Modellierung des Schaffhauser Munots

Im Rahmen des diesjährigen 3D-Blockkurses des Bachelor-Studiengangs in Geomatik am Institut Vermessung und Geoinformation der Fachhochschule Nordwestschweiz wurde der monumentale Schaffhauser Munot zum ersten Mal hochaufgelöst dreidimensional erfasst, modelliert und visualisiert. Dabei kamen modernste Aufnahmetechnologien wie scannende Tachymeter, terrestrische Laserscanner und Digitalkameras in diversen Konfigurationen sowie unterschiedliche automatische Auswerteverfahren zum Einsatz. In diesem Artikel werden Highlights der bildbasierten 3D-Modellierung aus Nadir- und erstmals auch Oblique-UAV-Aufnahmen und deren Kombination mit terrestrischen Bildaufnahmen vorgestellt.

Cette année,dans le cadre du cours-bloc 3D du cursus d'études pour bachelor en géomatique à l'Institut de mensuration et de géoinformation de la HES du nord-ouest de la Suisse le monumental Munot de Schaffhouse a pour la première fois fait l'objet d'un levé tridimensionnel en haute résolution modélisé et visualisé. A cet effet on a utilisé les technologies de levé les plus modernes telles que tachymètres à scannage, scanners laser terrestres et caméras digitales en diverses configurations ainsi que différentes méthodes d'exploitation. Dans cet article on présente plusieurs points forts de modélisation 3D d'images numérisées à partir de Nadir et, pour la première fois, aussi de levés obliques UAV et de leur combinaison avec des levés terrestres d'images.

Quest'anno nell'ambito del corso a blocchi tematici 3D del ciclo di studio di Bachelor in geomatica presso l'Istituto di Misurazione e Geoinformazione della SUP della Svizzera Nordorientale si è per la prima volta rilevata, modellata e visualizzata a livello tridimensionale e ad alta risoluzione la fortezza Munot di Sciaffusa. Al riguardo si è ricorsi all'uso delle più moderne tecnologie di rilevamento come il tacheometro al laser scanner, il laser scanner terrestre e le fotocamere digitali in varie configurazioni e con diversi processi di valutazione automatica. In quest'articolo vengono presentati i dati di spicco della modellazione 3D delle riprese fatte con un UAV del tipo Nadir e, per la prima volta, anche del tipo Oblique – con tanto di combinazione delle loro riprese terrestri.

E. Matti, S. Nebiker, M. Deuber

Der zwischen 1564 bis 1589 erbaute Munot ist eine Zirkularfestung im Zentrum der Stadt Schaffhausen. Mit einem Durchmesser von 50 Metern, einer Höhe von 40 Metern und einer Mauerdicke von bis zu vier Metern gehört der Munot zu einem der imposantesten Kulturgüter der Schweiz. Keine andere Stadt der Eidgenossenschaft hat sich im 16. Jahrhundert ein Bauwerk von vergleichbarer Monumentalität geleistet. Rund um das Schaffhauser Wahrzeichen gibt es eine Vielfalt an traditionellen und modernen Aktivitäten. Träger dieser Aktivitäten ist der 1839 gegründete Munotverein. Aus Anlass seines diesjährigen 175-jährigen Jubiläums wünschte sich der Munotverein ein digitales 3D-Modell und eine zukünftige webbasierte 3D-Visualisierung des Munots. Zu diesem Zweck wurde der Munot im Rahmen des diesjährigen 3D-Blockkurses des Bachelorstudiengangs in Geomatik am Institut Vermessung und Geoinformation der Fachhochschule Nordwestschweiz zum ersten Mal hochaufgelöst dreidimensional erfasst, modelliert und visualisiert. Wichtige Ziele des Projekts waren die Integration und der Vergleich unterschiedlicher neuer Aufnahme- und Auswertetechnologien, u.a. der erstmalige Einsatz von Schrägluftbildaufnahmen mit einem Flächenflügel-UAV.
Es folgen eine Darstellung der verwendeten Aufnahme- und Auswertemethodik für das Gesamtprojekt sowie eine spezielle Betrachtung der photogrammetrischen Aufnahme- und Auswerteverfahren. Danach werden ausgewählte Resultate präsentiert sowie ein Fazit über den verwendeten Workflow gezogen.

Projektübersicht und Workflow

Ausgehend vom Lernziel, unterschiedliche Aufnahmetechnologien kennen zu lernen, und dem Projektziel einer effizienten hochaufgelöste 3D-Erfassung, -Modellierung und Visualisierung des Munots, wurden für die Erfassung der unterschiedlichen Teilobjekte verschiedenste Geosensoren eingesetzt (Abb. 1). Zum Einsatz kam insbesondere eine eBee-Microdrohne der Firma senseFly (Abb. 2), um mittels Nadir- und Obliqueaufnahmen die Aussenhülle und Umgebung der Munotanlage zu erfassen. Die grösseren und kleineren Räume wurden mit einem Leica P20 Laserscanner sowie mit mehreren Leica MS50 Totalstationen texturiert gescannt. Letztere ermöglichten die gleichzeitigte Erfassung des GNSS-gelagerten Grundlagennetzes. Zusätzlich wurden von der Festungsplattform, der nördlichen Munotfassade und dem östlichen Wehrgang terrestrische Laserscanning- und Photogrammetrieaufnahmen gemacht (siehe Abb. 1). Die Auswertung sämtlicher Aufnahmen umfasste:

[1] Prozessor: Intel Xeon 3.7 GHz 64-bit, RAM: 32 GB.

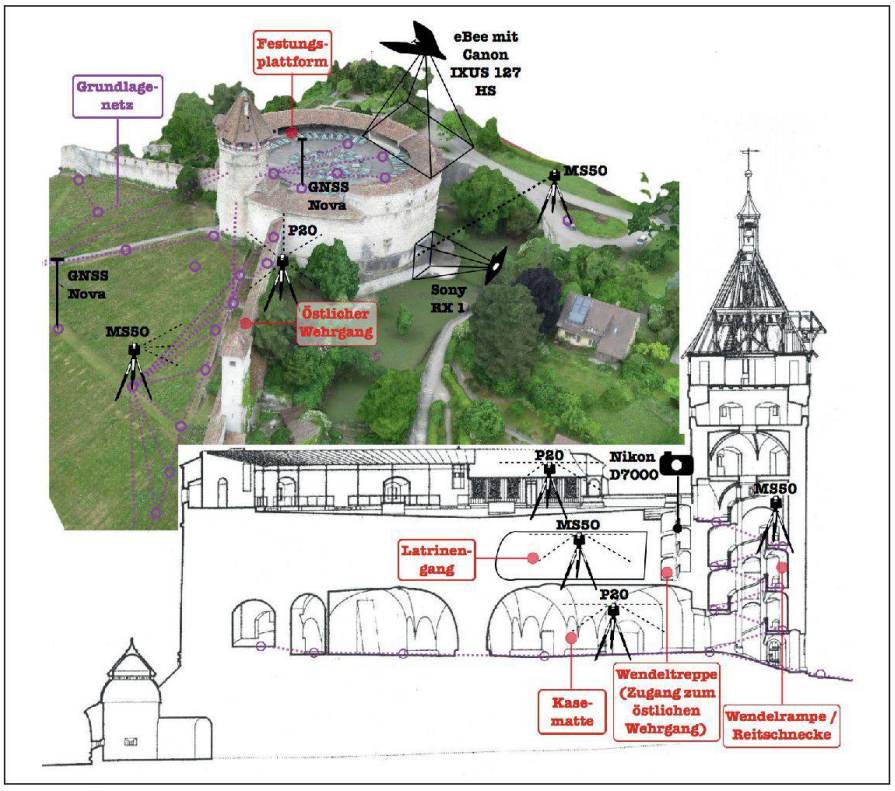


Abb. 1: Übersicht der aufgenommenen Teilobjekte des Munots (rot beschriftet) und der eingesetzten Sensoren. Oben links: Überlagerung auf 3D-Modell aus PhotoScan (oben links); unten rechts: Schnittansicht.

1. Eine Ausgleichung des Grundlagenetzes
2. Die Registrierung bzw. Nachorientierung der Leica P20- und MS50-Laserscanningaufnahmen auf die definitiven Anschlusspunkte
3. Die Orientierung und Lagerung der photogrammetrischen Aufnahmen, die Generierung dichter 3D-Punktwolken über Dense Image Matching sowie die Ableitung texturierter 3D-Dreiecksvermaschungen
4. Die Entfernung grober Ausreisser und Störobjekte (z.B. Personen oder Stative) aus den einzelnen Punktwolken
5. Eine Fusion sämtlicher Punktwolken über das gemeinsame Grundlagenetz
6. Eine Kachelung der fusionierten Punktwolke und die Ableitung einer kolorierten 3D-Dreiecksvermaschungen pro Kachel
7. Generierung erster 3D-Animationsfilme, ausgehend von den kolorierten und texturierten 3D-Dreiecksvermaschungen

Photogrammetrische Aufnahmen

Instrumentarium und Aufnahmegebiete

Die Luftbildaufnahmen des 0.2 km^2 grossen Gebietes wurden mit einer eBee-Microdrohne (Abb. 2) unter Verwendung einer Canon IXUS 127 HS durchgeführt. Zusätzlich zu den Nadir- und Oblique-luftbildaufnahmen wurden zwei terrestrische Photogrammetrieblöcke (Abb. 1) der nördlichen Fassade und des Zugangs zum östlichen Wehrgang über eine sehr enge Wendeltreppe mit einer Stufenbreite von nur ca. 50 cm mit einer Sony DSC-RX1 bzw. mit einer Nikon D7000 aufgenommen.

Nadir- und Oblique-UAV-Aufnahmen

Die luftbildphotogrammetrische Erfassung des Munots und seiner Umgebung erfolgte in drei Schritten. Als Erstes wurden Passpunkte mittels GNSS eingemessen und signalisiert. Im zweiten Schritt wurde das gesamte Gebiet mit einer genügend hohen Flughöhe von 97 m über Grund ein erstes Mal beflogen und mit Postflight Terra 3D (PT3D) ein direkt georeferenziertes Höhenmodell berechnet. Anschliessend wurde dieses Höhenmodell in die Flugplanungs- und Missionskontrollsoftware eMotion2 importiert als Ersatz für das standardmässig enthaltene SRTM-Oberflächenmodell, das insbesondere für Befliegungen mit Schrägaufnahmen zu ungenau ist. Danach folgte die hochredundante Befliegung des Aufnahmegebiets. Insgesamt wurden zehn Nadirflüge mit unterschiedlichen Auflösungen von 1.5 bis 2.5 cm, einer Quer- und Längsüberlappung von 80 % und mit Fluglinien quer zur sowie entlang der Hangneigung durchgeführt. Zusätzlich wurden sechs Obliqueflüge durchgeführt, bei denen die eBee-Drohne für die jeweilige Aufnahme kurzzeitig in einen Stechflug übergeht. So entstanden, zusätzlich zu den 1700 Nadiraufnahmen, 50 Obliqueaufnahmen mit einer Auflösung von 1.5 cm und mit Nadirwinkeln von 15 – 30°.

Terrestrische Photogrammetrie-Aufnahmen

Die Erfassung der beiden terrestrischen Photogrammetrieblöcke erfolgte nach ähnlichem Verfahren. Im ersten Schritt wurden die Passpunkte bestimmt. Für die nördliche Fassade wurden natürliche Passpunkte reflektorlos mit der Leica MS50 Totalstation gemessen, während dem für die Lagerung der Wendeltreppe natürliche Passpunkte aus den dichten P20-Laserscans übernommen wurden. Um eine effiziente und zuverlässige Feldhandskizzenerstellung der tachymetrischen Passpunktaufnahmen zu gewährleisten, erwies sich die integrierte bildbasierte Feldprotokollierungsfunktionalität der Leica MS50 als sehr nützlich. Bei den gemachten Bildaufnahmen wurde darauf geachtet, dass v.a. bei der Aufnahme der Wendeltreppe ein minimaler Überlappungsgrad von 80 % eingehalten wurde. Schlussendlich wurden für die Aufnahme der nördlichen Fassade ca. 500 Aufnahmen und für die Wendeltreppe doppelt so viele gemacht.



Abb. 2: eBee-Microdrohne (oben links) und True-Orthophotomosaik des beflogen Gebiets (inkl. skizzierte Fluglinien).

Auswertungen

Die Auswertung der Luftbildaufnahmen erfolgte in Postflight Terra 3D von senseFly und in PhotoScan Professional von Agisoft. Die terrestrischen Aufnahmen wurden ausschliesslich in PhotoScan prozessiert. Bei beiden Softwareprodukten ist das Vorgehen, um ausgehend von Bildern automatisch verschiedenste photogrammetrische Produkte abzuleiten, sehr ähnlich und besteht aus den folgenden wichtigsten Schritten:

1. Berechnung der genährten Lage- und Orientierungsinformation pro Bild (optional bei PhotoScan): Diese erfolgt über eine zeitstempelbasierte Synchronisation der GNSS- und Intertialmessungen der eBee-Drohne mit den Bildaufnahmen.
2. Berechnung der präzisen Lage- und Orientierungsinformation pro Bild mittels automatischer Bildorientierung/Bündelblockausgleichung.
3. Lagerung des photogrammetrischen Bildblocks durch manuelles Messen der Bildkoordinaten der abgebildeten Passpunkte.
4. Berechnung der dichten texturierten Punktwolke mittels Dense Image Matching.
5. Berechnung von texturierten 3D-Dreiecksvermaschungen, Oberflächenmodellen oder eines True-Orthophotomosaiks ausgehend von den dichten 3D-Punktwolken und den präzis orientierten Bildern.

Bei der Generierung möglichst dichter, texturierter Punktwolken für die Weiterverarbeitung im eingangs vorgestellten Workflow spielen die Hardwareressourcen und Prozessierungszeiten eine wichtige Rolle. Mit der verfügbaren Hardware[1] und im zeitlichen Rahmen des Blockkurses wurden gesamthaft 470 Nadir- und 50 Obliqueaufnahmen in einem einzigen Block prozessiert. Bei der experimentel-



Abb. 3: 3D-Dreiecksvermaschungen der Wendeltreppe.

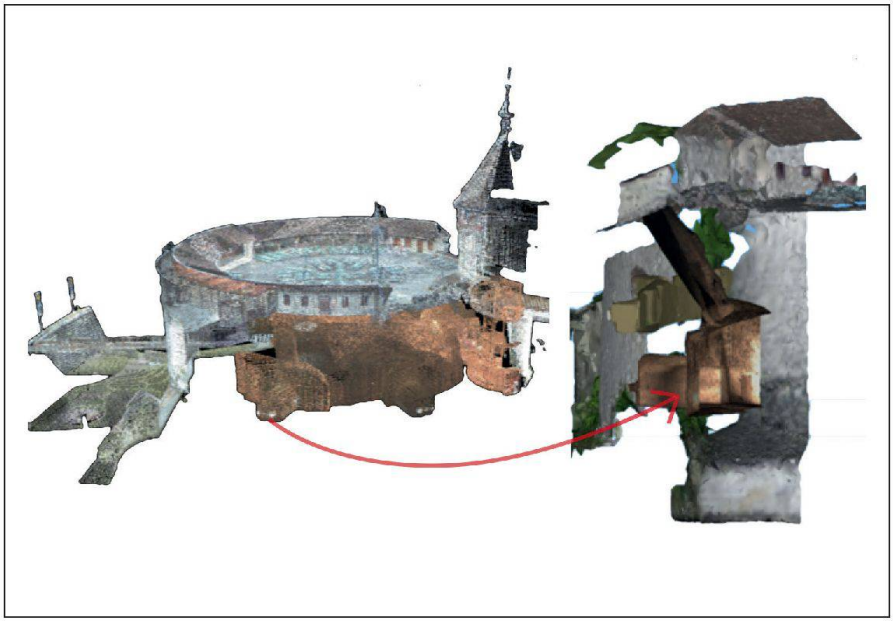


Abb. 4: Fusionierte Punktwolke aller Laserscanningaufnahmen (links) und entsprechend dreiecksvermaschte 3D-Kachel (rechts).

Merkmal	Luftbildblock (PT3D)	Nördliche Fassade	Wendeltreppe
Prozessierungszeit	ca. 24 h	ca. 2 h	ca. 5 h
Punktdichte (durchschnittliche Distanz zum nächsten Nachbarspunkt)	3.5 cm	2.0 cm	2 mm
Punktanzahl	191 826 082	3 305 041	10 523 242
Absolute Punktwolkengenauigkeit (3D-Punkt)	1 cm	3 cm	2 cm
Absolute Orthophotomosaikgenauigkeit (2D)	2.5 cm	–	–

Tab. 1: Ausgewählte Statistiken und Genauigkeitsangaben der photogrammetrischen Auswertungen.

len und anspruchsvollen photogrammetrischen 3D-Rekonstruktion der extrem engen Wendeltreppe wurden 600 der ursprünglich 1000 Bilder verwendet. Weiter wurden Teilblöcke prozessiert und gelagert, um mit einer genäherten korrekten Lösung in einem zweiten Schritt den gesamten Block prozessieren zu können.

Resultate

Aus den Luftbildaufnahmen wurde eine dichte texturierte Punktwolke mit ca. 190 Mio. Punkten und einem mittleren Punktabstand von 3.5 cm erzeugt. Zudem wurden eine texturierte 3D-Dreiecksvermaschung (Abb. 1), ein Oberflächenmodell und ein True-Orthophotomosaik (Abb. 2) abgeleitet. Die texturierte Punktwolke aus der 3D-Rekonstruktion der Wendeltreppe umfasste ca. 10 Mio. Punkte mit einem durchschnittlichen Punktabstand von 2 mm. Die entsprechende texturierte 3D-Dreiecksvermaschung ist in Abb. 3 dargestellt. Weitere Statistiken und die Genauigkeitsangaben zur photogrammetrischen Auswertungen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Auf der Basis der fusionierten Punktwolke entstand als Ergebnis des gesamten Workflows eine kolorierte 3D-Dreiecksvermaschung (Abb. 4), die als Grundlage zur Erstellung der 3D-Animationsfilme des Munots dient. Als wichtiges Zusatzprodukt wurden aus den erfassten 3D-Geodaten Grundlagenpläne für ein geplantes Umbauprojekt erstellt.

Fazit

In diesem Beitrag wurde ein Workflow zur effizienten Erfassung, Modellierung und Visualisierung eines komplexen und grossen Kulturdenkmals präsentiert. Hierfür wurden je nach Eigenschaften (z.B. Dimension oder Belichtung) des Aufnahmeobjektes gezielt unterschiedliche Aufnahmetechnologien und automatische Auswertungsverfahren eingesetzt. Erstmals kamen dabei auch Oblique-Aufnahmen mit einer Flächenflügel-Drohne zum Einsatz. Im Falle des Munots erwiesen sich diese Schrägaufnahmen als praxistauglich und sehr wertvoll, um auch aus der Luft detaillierte 3D-Fassadeninformationen zu gewinnen und um die Luftbildaufnahmen mit den ergänzenden terrestrischen Aufnahmen zu verknüpfen. Es zeigte sich, dass die in den letzten Jahren entwickelten Algorithmen zur automatischen Bildorientierung und des Dense Matchings mittlerweile einen vielfältigen, genauen und effizienten Einsatz der bildbasierten Erfassung erlauben. Auch ermöglicht der Ansatz der kolorierten und texturierten 3D-Dreiecksvermaschung, im Gegensatz zur manuellen expliziten 3D-Modellierung, heutzutage automatisch ansehnliche photorealistische und geringfügig generalisierte Modelle zu erstellen.

Eric Kenneth Matti
Stephan Nebiker
Marianne Deuber
Hochschule für Architektur,
Bau und Geomatik FHNW
Gründenstrasse 40
CH-4132 Muttenz
eric.matti@fhnw.ch
stephan.nebiker@fhnw.ch
marianne.deuber@fhnw.ch