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: 107 (2009)

Heft: 9

Artikel: 3D-Messtechnik am Nabel der Welt : terrestrisches Laserscanning zur Dokumentation der Moai auf der Osterinsel

Autor: Kersten, Thomas P. / Lindstaedt, Maren / Mechelke, Klaus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236632

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: 10.12.2025

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

3D-Messtechnik am Nabel der Welt

Terrestrisches Laserscanning zur Dokumentation der Moai auf der Osterinsel

Th. Kersten, M. Lindstaedt, K. Mechelke, B. Vogt

Die rekonstruierten monumentalen rituellen Plattformen (Ahu) und ihre Statuen (Moai) der Osterinsel werden seit 2007 im Rahmen einer jährlich stattfindenden deutschen archäologischen Expedition durch terrestrisches Laserscanning systematisch erfasst. Die Expedition ist eine Kooperation zwischen der HafenCity Universität Hamburg (HCU) und dem Deutschen Archäologischen Institut (DAI) in Bonn. Langfristiges Ziel des Projektes ist die Dokumentation der Moai, die in zunehmendem Masse durch Verwitterung oder vereinzelt durch Vandalismus bereits beschädigt und gefährdet sind. Zusätzlich werden Analysen zur Verwitterung und möglicher Veränderungen sowie die Überwachung geplanter Konservierungsmassnahmen an ausgewählten Moai getestet, wobei in ersten Untersuchungen bisher keine signifikanten Änderungen für den kurzen Zeitabstand von drei Jahren ermittelt werden konnten. Die Aufnahme der Statuen durch terrestrisches Laserscanning und die 3D-Modellierung der hoch auflösenden Punktwolken durch Dreiecksvermaschung werden in diesem Beitrag beschrieben.

Les plates-formes rituelles monumentales reconstruites (Ahu) et leurs statues (Moai) de l'île de Pâques sont saisies depuis 2007 par scannage laser terrestre dans le cadre d'une expédition archéologique annuelle allemande. L'expédition est une coopération entre l'Université HafenCity de Hambourg (HCU) et l'Institut Archéologique Allemand (DAI) de Bonn. Le but à long terme du projet consiste à documenter les Moais qui de plus en plus sont déjà endommagés et menacés par l'érosion ou du vandalisme occasionnel. En plus, des analyses d'érosion et d'altérations potentielles ainsi que la surveillance de mesures de conservation envisagées sont testées sur des Moais choisies. Ainsi, lors de premiers examens on a pas pu constater jusqu'à présent des modifications significatives pour la courte durée de trois ans.Dans cet article la saisie des statues par scannage terrestre et modélisation 3D des nuages de points à haute résolution à l'aide de réseaux de triangles est décrite.

Dal 2007 le piattaforme rituali e monumentali ricostruite (Ahu) e le loro statue (Moai) dell'Isola di Pasqua sono rilevate in modo sistematico con il laser scanner terrestre, in occasione di una spedizione archeologica tedesca che si tiene ogni anno. La spedizione è una cooperazione tra la HafenCity Universität Hamburg (HCU) e l'Istituto archeologico tedesco (DAI) di Bonn. Lo scopo a lungo termine del progetto consiste nel documentare i Moai, che sono già fortemente danneggiati o in pericolo a causa dell'erosione atmosferica o di singoli atti di vandalismo. Inoltre, si effettuano delle analisi sul degrado atmosferico e su possibili cambiamenti, e si sorvegliano le misure di conservazione pianificate sui Moai selezionati, anche se stando alle prime ricerche effettuate in questi primi tre anni non sono stati osservati mutamenti sostanziali. In quest'articolo vengono descritte le riprese delle statue con il laser scanner terrestre e la modellazione tridimensionale delle nuvole di punti ad alta risoluzione tramite interconnessione triangolare.

1. Einleitung

Te Pito o te Henua bezeichnen die Einheimischen die Osterinsel in ihrer Sprache, was übersetzt Nabel der Welt bedeutet. Wenn man die geographische Lage der Insel betrachtet, wird die Bezeichnung verständlich. Vollkommen isoliert vom Rest der Welt liegt im Südostpazifik die Osterinsel, ca. 3800 km vor der chilenischen Küste. Bekannt wurde die 160 km^2 grosse Insel vor allem durch ihre rätselhaften monolithischen Steinskulpturen (Moai). Ungefähr 900 Moai befinden sich heute noch auf Rapa Nui (grosse Insel), so die offizielle Bezeichnung der Einheimischen für ihre Insel, und die meisten von ihnen sind in schlechtem Zustand. Die Steinfiguren, die Jahrhunderte lang von den Inselbewohnern aus vulkanischem Tuffstein geformt wurden, sind meist entlang der Küsten vereinzelt oder in Gruppen aufgereiht auf Steinplattformen (Ahu) aufgestellt. Ihre kultische Bedeutung ist in Vergessenheit geraten, jedoch lassen archäologische Funde darauf schliessen, dass sie Bestandteil eines Ahnenkultes waren. Vermutlich während Auseinandersetzungen zwischen den einzelnen Stämmen der Insel wurden die meisten Ritualplattformen im 18. Jahrhundert zerstört. Erst seit 1956 wurden einige der Figuren wieder auf ihren angestammten Plätzen aufgestellt. Seit 1995 sind die Moai als UNESCO Weltkulturerbe geschützt, drohen aber zunehmend zu verwittern (Roth 1989), da sie Wind und Wetter schutzlos ausgeliefert sind, oder sie werden durch Tier (z.B. Pferde) und Mensch beschädigt (Bush 2004). Nicht zuletzt aus diesem Grund ist die Kommission für Archäologie Aussereuropäischer Kulturen des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) in Bonn seit Februar 2007 auf der Insel aktiv. Die Aufgabe der Geomatik von der HafenCity Universität Hamburg (HCU) besteht in der Dokumentation archäologischer Grabungen und der Moai durch terrestrisches Laserscanning. Ziel ist die Erfassung aller

wieder errichteter Moai und die Untersuchung der Verwitterung einiger Statuen in den nächsten zehn Jahren (Kersten et al. 2009a, Kersten et al. 2009b). Dabei war die Wahl eines berührungslosen Messverfahrens von grosser Bedeutung, da die Ahu nicht betreten und die Figuren nicht berührt werden dürfen.

2. Eingesetzte terrestrische Laserscanningsysteme

Die Aufnahme der Moai wurde mit folgenden terrestrischen Laserscanningsystemen durchgeführt: Trimble GX (im Jahr 2007), Trimble GS101 (2008) und IMAGER 5006 von Zoller + Fröhlich (2008 und 2009). Ausserdem wurden die Moai mit kommerziellen digitalen Spiegelreflexkameras Nikon D40/D70 photographisch aufgenommen. Wichtige technische Spezifikationen der eingesetzten Laserscanner und deren Genauigkeitsverhalten sind in Kersten et al. 2005 und Mechelke et al. 2008 beschrieben.

3. Die Moai der Osterinsel

Nahezu die Hälfte (397) der 887 bereits katalogisierten Moai befinden sich in und um den hauptsächlichen Moai-Steinbruch, den Vulkan Rano Raraku. 288 Moai wurden von dort abtransportiert und auf die Ahu (Plattformen) gesetzt, die meistens an der Küste rund um die Insel errichtet wurden. 92 Moai stehen oder liegen in der Landschaft entlang jener Transportwege, die einst den Steinbruch mit den endgültigen Aufstellungsorten verbanden. Der höchste aufgestellte Moai ist 10 m hoch und wiegt 75 Tonnen; der schwerste aufgestellte Monolith ist zwar etwas niedriger, aber breiter gebaut. Er steht auf dem Ahu Tongariki (der 11. von links in Abb. 2) und weist ein Gewicht von ca. 86 Tonnen auf.

Die räumliche Verteilung der Moai auf der Osterinsel, die im Zeitraum von 2007 bis 2009 durch das Department Geomatik der HCU Hamburg gescannt wurden, ist in Abb. 1 dargestellt. Die Moai bei den drei Ahu Hanua Nua Mea, Hanga Mea und bei Akahanga sind umgestürzt, während die anderen Moai der gescannten zwölf Ahu wieder aufgerichtet sind. Eine genaue Zusammenstellung der gescannten Moai von 2007/2008 ist in Kersten et al. 2009a und Kersten et al. 2009b aufgeführt.

4. Datenerfassung

4.1 Laserscanning der Moai

Vor der Aufnahme mit dem Laserscanner wurde um jedes Objekt ein geodätisches Netz mit permanenter Punktvermarkung angelegt (3D-Punktgenauigkeit ca. 4 mm) und mit einer Totalstation Leica TCR 407 lokal bestimmt. Zusätzlich wurden GPS-Messungen auf den Netzpunkten mit AshTech ProMark II L1-GPS Receivern durchgeführt, wobei die auf der Osterinsel befindliche permanente internationale GPS-Station als Referenzstation verwendet wurde. Das Scanning mit den beiden Trimble Scannern GX und GS101 ist bereits in Kersten et al. 2009a beschrieben. Für das Scannen mit dem IMAGER 5006 wurden zur Registrierung und Georeferenzierung der Scans für jeden Scannerstandpunkt mindestens vier schwarzweisse Zieltafeln verwendet, deren UTM-Koordinaten vor dem Scannen durch die Totalstation im geodätischen Netz bestimmt wurden. Somit konnten die Scans anschliessend direkt im UTM-Koordinatensystem registriert bzw. geoferenziert werden.

Je nach Entfernung zum Objekt wurde die Scanauflösung auf High (6.3mm@10m) oder auf Superhigh (3.1mm@10m) gesetzt. Die Datenerfassung dauerte für jede Scannerposition mit Positionswechsel zwischen sechs und zehn Minuten. Zusätzlich zu den Scandaten wurden mit der digitalen Kamera Nikon D40, die mit bekannter innerer Orientierung auf dem Scanner montiert war, digitale Bilder aufgenommen, die später bei der Auswertung für die Integration der RGB-Farbwerte in die Punktwolken verwendet wurden.

4.2 Registrierung und Georeferenzierung der Punktwolken

Die Registrierung bzw. Georeferenzierung der Scans erfolgte mit der Software

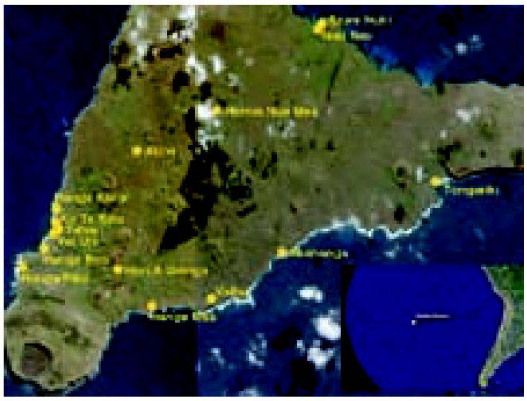


Abb. 1: Räumliche Verteilung der gescannten Moai und geographische Lage der Osterinsel (Quelle: Google Earth).

LaserControl 7.4.5.0. von Zoller + Fröhlich. Dabei wurden die Positionen der schwarz-weissen Zieltafeln durch halbautomatische Messverfahren bestimmt und anschliessend über eine 3D-Transformation in das UTM-Koordinatensystem transformiert. Die Genauigkeit für die Registrierung bzw. Georeferenzierung der Punktwolken lag für die verschiedenen Projekte im Bereich von 2–7 mm. Nach der Georeferenzierung der Scans wurde für jeden einzelnen Scan eine Filterung nach Intensitätswerten und Fehlmessungen in LaserControl durchgeführt, wobei auch eine Ausdünnung der sehr dichten Daten mit einer vorgegebenen Gitterweite (z.B. 3 mm) erfolgte.

5. Modellierung

Das Hauptziel der Auswertung der georeferenzierten und farbkodierten Punktwolken war die Erstellung von virtuellen Modellen der gescannten Objekte. Die 3D-Modellierung der Moai erfolgte mit der Software Raindrop Geomagic V10, die die einzelnen Punktwolken im Zoller + Fröhlich Format direkt einlesen konnte. Nach dem Einlesen der registrierten Punktwolken wurden die relevanten Daten für die Modellierung segmentiert bzw. bereinigt und zu einem Modell vereinigt. Anschliessend wurde die Punktwolke des jeweiligen Objektes auf Ausreisser und Rauschen gefiltert sowie weiter ausgedünnt. Mit diesem reduzierten Datensatz

Abb. 2: Die 15 Moai vom Ahu Tongariki im Photo (oben) und als 3D-Modell von der Vorder- und Rückseite.

Abb. 3: Der Moai Akapu vom Ahu Hanga Kio'e (links) und einzelner Moai von Akivi mit photo-realistischer Textur (rechts).

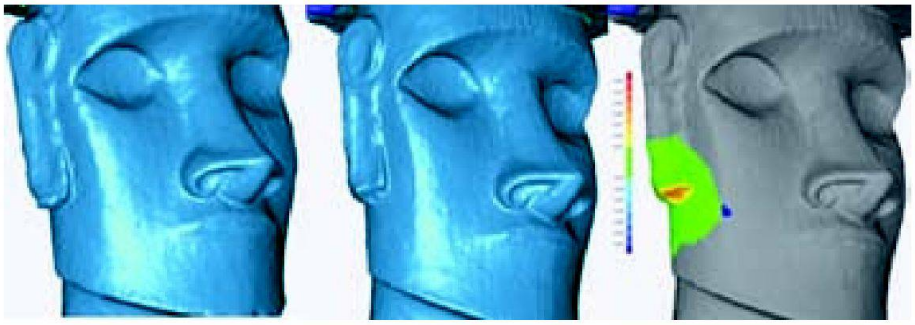


Abb. 4: Durch finnischen Touristen am Ohr beschädigter Moai vom Ahu Nau Nau: 3D-Modell des Kopfes von 2008 (links), 2009 (Mitte) und visualisierte Beschädigung (rechts).

wurde dann eine Dreiecksvermaschung (3D-Triangulation) berechnet. Kleine Löcher, die nach der Berechnung im Modell des Moai vorhanden sind, wurden mit einer krümmungsbasierten Methode gefüllt, so dass ein geschlossenes Modell entstand. Solche virtuellen 3D-Modelle (Abb. 2 und 3) können für Visualisierungen, Volumenberechnungen, Ableitung von geometrischen Elementen, Schnittdarstellungen und Zuordnung von Metadaten als Grundlage zur Dokumentation in einem Geoinformationssystem und für Restaurierungs- und Konservierungsaufgaben verwendet werden. Besonders 3D-Modelle mit photo-realistischen Texturen eignen sich für viele Visualisierungsaufgaben wie z.B. im Tourismus. Werden die Moai in regelmässigen zeitlichen Abständen gescannt, können ggf. durch Verwitterung oder durch Einwirkungen von Mensch und Tier verursachte Änderungen detektiert und analysiert werden, wie z.B. das durch einen finnischen Touristen im März 2008 zerstörte Ohr an einem Moai vom Ahu Nau Nau (Abb. 4).

Bei der Datenbearbeitung stellen die enormen Datenmengen ein erhebliches Problem dar. Ein Projekt mit vom IMAGER 5006 erfassten Daten kann schnell über 50 Millionen Punkte beinhalten, geeignete Verarbeitungsstrategien zur Minimierung der Punktanzahl sind daher unerlässlich für eine effiziente Bearbeitung. Obwohl bei der Bearbeitung der 15 Moai des Ahu Tongariki die Modellierung jeder Skulptur auf 1 000 000 Dreiecke beschränkt wurde, ergab sich ein File von knapp 800 MB Grösse (Abb. 2). Das Gewicht der 8,40 m hohen 11. Figur (von links in Abb. 2) wurde bei einem Volumen von 32,71 m^3 (spezifisches Gewicht 1,82 g/ccm) mit 59,6 Tonnen signifikant abweichend zu der vorherigen Angabe in Kap. 3 berechnet.

6. Fazit und Ausblick

In den Jahren 2007 bis 2009 konnten 12 Ahu mit insgesamt 45 aufgerichteten Moai durch die Scanner GX/GS101 von Trimble und Z+F IMAGER 5006 aufgenommen werden, wobei drei Objekte bereits dreimal gescannt wurden, um Veränderungen durch einen 3D-Vergleich zu untersuchen. Wie erwartet konnten keine signifikanten Änderungen an den Moai für den kurzen Zeitraum festgestellt werden (Kersten et al. 2009a). Grundsätzlich stellt das Scannen der Moai-Oberseiten noch ein Problem dar, da geeignete erhöhte Scannerstandpunkte selten vorhanden sind. Stabile mobile Plattformen für Laserscanner oder sogenannte UAV's (windstabile Helikopter oder Minidrohnen) mit Kameras könnten hier die Datenerfassung zukünftig unterstützen.

Die Generierung von 3D-Modellen der bereits gescannten Moai ist noch nicht vollständig abgeschlossen (September 2009). Die photo-realistische Texturierung und Visualisierung der Moai muss noch optimiert werden und die Datenmenge der 3D-Modelle für interaktive Visualisierungen muss signifikant reduziert werden. Die Datenerfassung der Moai und archäologischer Grabungen durch terrestrisches Laserscanning wird in den nächsten Jahren fortgesetzt.

Das grossartige kulturelle Erbe der Osterinsel ist in zunehmendem Masse durch die Einwirkung von Naturkräften, durch den Einfluss der Menschen mit dem stetig zunehmenden Tourismus und den freilaufenden Pferden gefährdet. Dies zeigt die Notwendigkeit einer schnellen und detaillierten Dokumentation des UNESCO Weltkulturerbes durch Laserscanning. Detailgetreue 3D-Modelle, generiert aus Laserscandaten, eröffnen hier neue Möglichkeiten für die Erstellung von Replikas und können als Grundlage für Massnahmen zur Konservierung und Restaurierung dienen.

Literatur:

Bush, A. J., 2004: The Impact of Animals and People on Archaeological Sites: A Case Study From Easter Island. The Reñaca Papers – VI Internat. Conference on Easter Island and the Pacific, Reñaca, Viña del Mar, Chile, Sep. 21–25, pp. 471–478.

Kersten, Th., Sternberg, H. & Mechelke, K., 2005: Investigations into the Accuracy Behaviour of the Terrestrial Laser Scanning System Mensi GS100. Optical 3-D Measurement Techniques VII, Gruen/Kahmen (Eds.), Vol. I, pp. 122–131.

Kersten, Th. , Lindstaedt, M. & Vogt, B., 2009a: Preserve the Past for the Future – Terrestrial Laser Scanning for the Documentation and Deformation Analysis of Easter Island's Moai. – PFG, 2009 (1): 79–90.

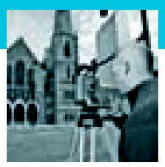
Kersten, Th., Lindstaedt, M., Mechelke, K. & Vogt, B., 2009b: Terrestrisches Laserscanning zur Dokumentation der Moai auf der Osterinsel. Denkmäler3.de – Industriearchäologie, Heinz-Jürgen Przybilla & Antje Grünkemeier (Hrsg.), Shaker Verlag GmbH, Aachen, 2009.

Mechelke, K., Kersten, Th. & Lindstaedt, M., 2008: Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen neuester terrestrischer Laserscannersysteme – Leica ScanStation 2 und Z+F IMAGER 5006. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 317–328.

Roth, M., 1989: Konservierung der grossen Steinbüsten. 1500 Jahre Kultur der Osterinsel, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, pp. 145–151.

Thomas P. Kersten
Maren Lindstaedt
Klaus Mechelke
HafenCity Universität Hamburg
Geomatik
DE-22297 Hamburg
[Thomas.Kersten, Maren.Lindstaedt, Klaus.Mechelke]@hcu-hamburg.de

Dr. Burkhard Vogt
Deutsches Archäologisches Institut
Kommission für Archäologie Aussereuropäischer Kulturen
Dürenstrasse 35–37
DE-53173 Bonn
vogt@kaak.dainst.de



Trimble® VX Spatial Station

Totalstation mit Video und 3D-Scanning

Die neue Trimble VX Spatial Station kombiniert optische Totalstation, 3D-Scanner und Video-Station zu einem neuen, einzigartigen Gesamtsystem. Die gemessenen Objektdaten werden direkt in der Video-Anzeige dargestellt. Sie verifizieren Ihre Messungen mit einem Blick direkt mit dem realen Bild im Feld.

Die Integration des 3D-Scanners in die leistungsfähigste Robotic-Totalstation (Trimble S6) ermöglicht einen problemlosen Einstieg in die neuen Scanning-Märkte. Die neue Trimble VX Spatial Station müssen Sie gesehen haben. Rufen Sie uns an!

Branchenführende Innovation

- 3D-Scanner integriert in optischer Totalstation.
- Digitalbilder gemeinsam mit Messpunkten speichern.
- Direkte Darstellung der Objektdaten in der Video-Anzeige.
- Komplett neue Anwendungsbereiche.

allnav

allnav ag
Ahornweg 5a
CH-5504 Othmarsingen
www.allnav.com
Tel. 043 255 20 20
Fax 043 255 20 21
allnav@allnav.com

Geschäftsstelle in Deutschland: D-71522 Backnang
Succursale allnav CH Romande: CH-1891 Vérossaz

Trimble.