

THOMAS P. KERSTEN, MAREN LINDSTAEDT, KLAUS MECHELKE, Hamburg &
BURKHARD VOGT, Bonn

Terrestrisches Laserscanning zur Dokumentation der Moai auf der Osterinsel

Keywords: 3D Modellierung, archäologische Dokumentation, Laserscanning

Summary: Since 2007 the reconstructed monumental ritual platforms (ahu) and their statues (moai) of the Easter Island are systematically documented by terrestrial laser scanning, which is annually carried out in the context of the German archaeological expedition as a co-operation between the department Geomatics of the HafenCity University Hamburg (HCU) and the German Archaeological Institute in Bonn. The long-term goal of the project is to contribute to the documentation of the endangered World Heritage, which is increasingly endangered by erosion and already partially damaged by animals or sporadically by vandalism, in order to summarize all relevant data later in a geoinformation system (GIS). Additionally, an analysis of deterioration and possible deformations including the monitoring of planned preservation measures at selected moai are tested, whereby in first investigations no significant changes could be determined for the short time interval of two years. In this paper the data acquisition of the statues by terrestrial laser scanning and the 3D modelling of the high resolution point clouds by triangulation (meshing) are presented.

Zusammenfassung: 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 dem Department Geomatik 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 Erosion oder vereinzelt durch Vandalismus bereits beschädigt und gefährdet sind. Alle relevanten Daten werden dafür in einem Geoinformationssystem (GIS) zusammengefasst. Zusätzlich werden eine Analyse der Verwitterung und möglicher Deformationen sowie die Überwachung geplanter Konservierungsmaßnahmen an ausgewählten Moai getestet, wobei in ersten Untersuchungen keine signifikanten Änderungen für den kurzen Zeitabstand von zwei 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.

1 Einleitung

Vollkommen isoliert vom Rest der Welt liegt im Südostpazifik die Osterinsel, ca. 3800 km vor der chilenischen Küste. Bekannt wurde die 160 km² große Insel vor

allem durch ihre rätselhaften monolithischen Steinskulpturen, die von den Einheimischen Moai genannt werden. Ungefähr 900 Moai finden sich heute noch auf Rapa Nui (große Insel), so die 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.

Nicht zuletzt aus diesem Grund ist die Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) in Bonn unter der Leitung von Burkhard Vogt seit Februar 2007 auf der Insel aktiv. Zielsetzung ist die Erforschung der in weiten Teilen noch unbekanntes Geschichte der Insel, ihrer Einwohner und der Moai. In diesem Rahmen sollen auch ausgewählte Moai dokumentiert und katalogisiert werden. Zukünftig sollen dann in einem Geoinformationssystem alle relevanten Daten der Skulpturen zusammengestellt werden. Dafür wurden jeweils im Februar/März 2007 bis 2009 in Kooperation mit dem Department Geomatik der HafenCity Universität Hamburg (HCU) erste Messkampagnen durchgeführt. Ziel ist hierbei in erster Linie die Erfassung aller wieder errichteter Moai durch terrestrisches Laserscanning, um eine exakte Modellierung der Figuren vornehmen zu können und mit Hilfe von Folgemessungen bei einigen Figuren in den nächsten zehn Jahren den Prozess des Verfalls möglichst genau aufzeigen zu können. Bisherige Dokumentationen liegen nur in Form von Bildern und Zeichnungen in Kombination mit Handaufmaßen von einigen wenigen Figuren vor (VAN TILBURG 1994), die natürlich nicht flächendeckend sondern nur punktuell vorgenommen wurden. Um nun eine umfassende Analyse für die kompletten Figuren hinsichtlich Verwitterung und Erosion erstellen zu können, kam für diese Messungen das terrestrische Laserscanning zum Einsatz. Dabei war die Wahl eines berührungslosen Messverfahrens von großer Bedeutung, da die Ahu nicht betreten und die Figuren nicht berührt werden dürfen.

Terrestrisches Laserscanning wurde bereits im Jahr 2003 das erste Mal auf der Osterinsel eingesetzt, als unter anderem der Moai am Museo Antropologico P. Sebastian Englert und die Petroglyphen von Orongo mit einem CYRAX 2500 für die Universität von Hawaii, Department für Anthropologie, gescannt wurden (WELLMAN 2003). Über die ersten Ergebnisse vom systematischen Scannen und Modellieren einiger wieder aufgerichteter Moai in den Jahren 2007/2008 berichten KERSTEN et al. 2009. Dieser Artikel bildete die Grundlage für den Vortrag an der Veranstaltung Denkmäler3.de im November 2008, während im vorliegenden Beitrag bereits neue Arbeiten und Ergebnisse von 2008/2009 präsentiert werden. Ferner hat ein

Mitarbeiter von Autodesk USA für das eigene Easter Island Mapping Project im Oktober 2007 einige Ahu und Moai (u.a. auch am Rano Raraku) gescannt (AUTODESK 2007).

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 sind in Tab. 1 zusammengefasst, während die Systeme und deren Genauigkeitsverhalten in KERSTEN et al. 2005, MECHELKE et al. 2007 und MECHELKE et al. 2008 beschrieben sind.

Tab. 1: Technische Spezifikationen der eingesetzten Laserscanner

Scanner / Kriterium	Trimble GX 	Trimble GS101 	Z+F IMAGER 5006 
Scanverfahren	Impulslaufzeit		Phasendifferenz
Sichtfeld [°]	360 x 60		360 x 310
Scandistanz [m]	< 200 (<350)	< 100 (<150)	< 79
Scangeschwindigkeit	≤ 5000pts/s		≤ 500000pts/s
Laserwellenlänge [nm]	532		658
Laserspotgröße	0,6mm/10m		3,2mm/10m
Winkelauflösung [°]	0,0017		0,0018
3D Punktgenauigkeit	12mm/100m		10mm/50m ¹
Kamera	integriert		Aufsatz (optional)
Neigungssensor	Kompensator	nein	ja
Gewicht [kg]	13.5		14
Jahr eingesetzt	2007	2008	2008, 2009

¹ Gemäß Herstellerangaben für den baugleichen Leica HDS6000

3 Die Moai der Osterinsel

Nahezu die Hälfte (397) der 887 Moai befinden sich in und um den hauptsächlichen Moai-Steinbruch, dem 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 verband. Obwohl alle Moai die gleiche Grundform aufweisen gibt es doch deutliche Variation hinsichtlich Größe und Proportionen. Fast alle Moai besitzen einen übergroßen Kopf, der bis zu drei Fünftel des eigenen Körpers ausmachen kann. Folgt man der Theorie des Ahnenkults, könnten die Moai 'lebende Gesichter' und Darstellungen von verstorbenen und geheiligten Häuptlingen sein. Nahezu alle Moai

sind mit dem Rücken zum Meer auf ihrem Ahu aufgestellt worden. Der höchste aufgestellte Moai ist 10 Meter hoch und wiegt 75 Tonnen; der schwerste aufgestellte Monolith ist zwar etwas niedriger, aber breiter gebaut. Er steht auf dem Ahu Tongariki (siehe Abb. 6) und weist ein Gewicht von ca. 86 Tonnen auf. Jedoch werden beide noch übertroffen von einer nicht fertig gestellten Skulptur am Rano Raraku, die über 21 Meter lang ist. Das Gewicht wird auf ca. 270 Tonnen geschätzt.

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 Vaipu (ARUTH), Hanga Mea, und bei Akahanga sind umgestürzt, während die anderen gescannten Moai wieder aufgestellt sind. Eine genaue Zusammenstellung der gescannten Moai von 2007/2008 ist in KERSTEN et al. 2009 aufgeführt. Im Jahr 2009 wurden die Moai Vaihu, Huri A Urenga, die Figur mit dem abgeschlagenen Ohr vom Ahu Nau Nau, Ko Te Riku und Ahu Akivi als Wiederholungsscans erfasst, während die Ahu Vai Uri, Ahu Tahai, Ahu Hanga Piko und die drei Ahu in Hanga Roa neu gescannt wurden.

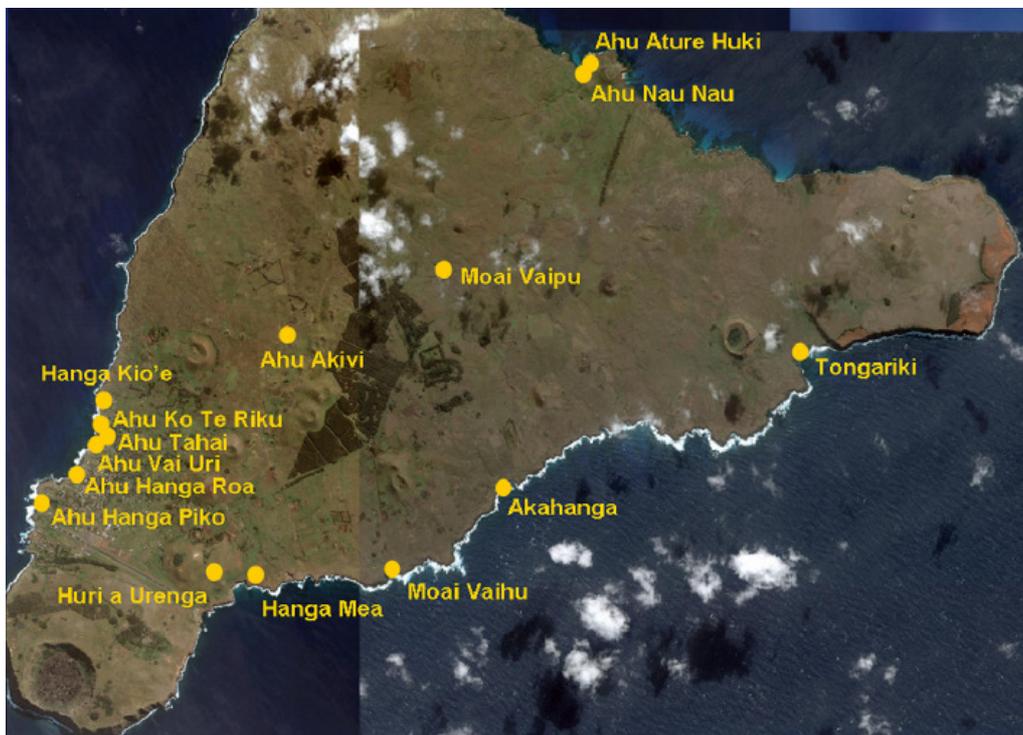


Abb. 1 Räumliche Verteilung der gescannten Moai auf der Osterinsel, dargestellt in einem Satellitenbild von Google Earth.



Abb. 2 Der Tahai Komplex in Hanga Roa mit Ahu Tahai (links), Ahu Vai Uri (Mitte) und Ahu Ko Te Riku (rechts).

4 Datenerfassung

4.1 Geodätische Netzmessung und GPS-Messungen

Vor der Aufnahme mit dem Laserscanner wurde um jedes Objekt ein geodätisches Netz mit permanenter Punktvermarkung angelegt und mit einer Totalstation Leica TCR 407 bestimmt. Die lokalen Koordinaten wurden in einer Netzausgleichung mit Standardabweichungen von ca. 4 mm für die Festpunkte bestimmt. Zusätzlich wurden GPS-Messungen auf den Netzpunkten mit AshTech ProMark II L1-GPS Receivern durchgeführt. Für die Auswertungen der GPS-Messungen wurde die sich auf der Osterinsel befindliche IGS-Station ISPA als Referenzstation verwendet. Die Rohdaten der Station ISPA konnten im Internet jeweils einen Tag später heruntergeladen werden. Da keines der Messgebiete mehr als 13 km von der Referenzstation entfernt liegt, konnte mit einer Beobachtungszeit von ca. 30 Minuten pro Punkt eine ausreichende Genauigkeit der Basislinien zwischen Messpunkt und ISPA gewährleistet werden. Die Auswertung der GPS-Daten erfolgte mit der Software Ashtec Solutions 2.7, mit deren Hilfe die GPS-Rohdaten der Punkte in das UTM-Koordinatensystem (Geodätisches Datum SIRGAS) transformiert wurden. Da die absolute Genauigkeit der GPS-Messungen deutlich schlechter als die der Totalstation ist, wurden die lokalen Koordinaten der Messgebiete durch eine 2D-Helmerttransformation mit einem Maßstabsfaktor 1 in das UTM-Koordinatensystem transformiert, so dass die Genauigkeit der lokalen Netze erhalten blieb

4.2 Laserscanning der Moai

Die Erfassung der Moai durch terrestrisches Laserscanning erfolgte 2009 nur mit dem IMAGER 5006, während 2008 sowohl der IMAGER 5006 als auch der Trimble GS101 eingesetzt wurden. 2007 wurde nur der Trimble GX zur Datenerfassung verwendet. Das Scanning mit den beiden Trimble Scannern ist in KERSTEN et al. 2009 beschrieben. Für das Scannen mit dem IMAGER 5006 wurden zur Registrierung und Georeferenzierung der Scans für jeden Scannerstandpunkt mindestens vier schwarz-weiße Zieltafeln verwendet, deren UTM-Koordinaten vor dem Scannen durch die Totalstation bestimmt wurden. Dazu wurde die Position der Totalstation vorab durch eine freie Stationierung im geodätischen Netz bestimmt. Somit konnten die Scans anschließend direkt im UTM-Koordinatensystem registriert bzw. georeferenziert 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 auf dem Scanner aufgesetzt war, digitale Bilder aufgenommen, die später bei der Auswertung für die Integration der RGB-Farbwerte in die Punktwolken verwendet wurden.

4.3 Registrierung und Georeferenzierung der Punktwolken

Die Registrierung bzw. Georeferenzierung der Scans erfolgte mit der Software 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 Ergebnisse der Registrierung bzw. Georeferenzierung sind für die verschiedenen Projekte aus dem Jahr 2009 in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Statistik zur Registrierung und Georeferenzierung der verschiedenen Projekte

Objekte 2009	# Scannerstationen	# Zieltafeln	Genauigkeit Registrierung [mm]	Genauigkeit Georeferenzierung [mm]
Moai Vaihu	7	8	3.4	-
Ahu Huri A Urenga	6	5	5.3	4.4
Ahu Vai Uri	23	20	5.5	4.2
Ahu Tahai	7	5	2.2	3.1
Ahu Akivi	12	6	5.2	4.6
Ahu Nau Nau	4	11	5.9	3.2
Ahu Ko Te Riku	7	5	2.4	1.9
Ahu Vaipu (ARUTH)	9	9	4.7	6.5

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. 3mm) erfolgte.



Abb. 3 3D-Testfeld vor dem Ahu Akivi zur Bestimmung der äusseren Orientierung der auf dem Scanner aufgesetzten Kamera.

4.4 Integration von RGB-Werten in die Punktwolken

Um die Farbwerte der digitalen Bilder in die Punktwolke zu integrieren, muss der Vektor zwischen Scannerspiegel und aufgesetzter Kameraoptik bestimmt werden. Die innere Orientierung der Kamera (Sigma-Objektiv mit einer Brennweite von 20 mm) wurde in einer Feldkalibrierung bestimmt, in dem ein Schachbrettmuster aus neun verschiedenen Kamerapositionen aufgenommen wurde. Bei dieser Kalibrierung wurden die Kamerakonstante, der Bildhauptpunkt und die Objektivverzeichnung in einer Ausgleichung berechnet. Die äussere Orientierung wurde (als Vektor zwischen Projektionszentrum der Kamera und Rotationszentrum des Scannerspiegels) durch Messungen von mindestens acht räumlich gut verteilten Zieltafeln in einem 360° Scan und in den entsprechenden digitalen Bildern mit der Software LaserControl

(Modul LCColor) abgeleitet. In Abb. 3 ist ein entsprechendes 3D-Testfeld zur Bestimmung der äusseren Kameraorientierung dargestellt.

Mit den bekannten Parametern der inneren und äusseren Orientierung konnten die Farbwerte der digitalen Bilder in die einzelnen Punktwolken integriert werden. Die Abb. 4 zeigt ein Beispiel für eine erfolgreiche Colorierung eines Scans. Leider funktionierte die Einfärbung der Punktwolken nicht immer zuverlässig.



Abb. 4 Farbkodierte Punktwolke des IMAGER 5006 von der Rückseite des Ahu Akivi.

5 Modellierung

Die wesentliche Aufgabe 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 wurde 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 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 entstanden ist. Solche virtuellen 3D Modelle (siehe Abb. 5 und 6) 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 Erosion oder durch Einwirkungen von Menschen und Tieren verursachte Änderungen detektiert und analysiert werden. Erste Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass sich kurzfristige Veränderungen nicht detektieren lassen, da sie im Messrauschen untergehen (KERSTEN et al. 2009).

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 800 MB Größe (Abb. 5).



Abb. 5 Die 15 Moai vom Ahu Tongariki (Modell mit 1000000 Dreiecken / Moai, ca. 800 MB)

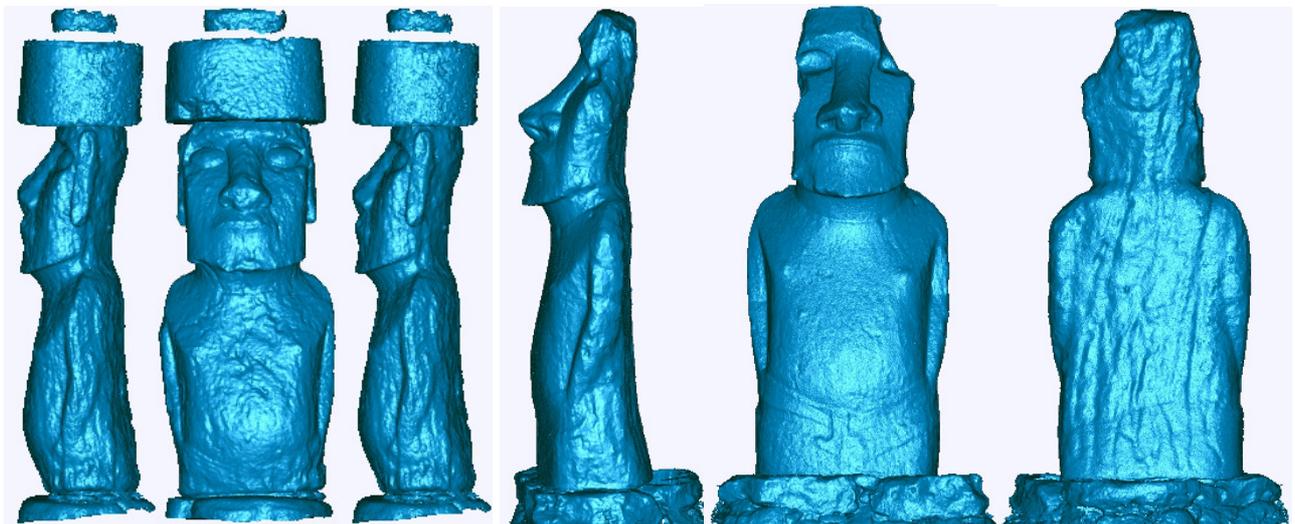


Abb. 6 Der Moai von Ko Te Riku (links) und der Moai von Huri A Urenga (rechts)

6 Fazit und Ausblick

In den Jahren 2007 bis 2009 konnten 14 Ahu mit insgesamt 43 aufgerichteten Moai durch die Scanner GX/GS101 von Trimble und Z+F IMAGER 5006 aufgenommen werden, wobei drei Objekte bereits dreimal gescannt wurden, um Deformationsanalysen durch einen 3D-Vergleich zu testen. Wie erwartet konnten keine signifikanten Änderungen an den Moai für den Zeitraum von zwei bzw. drei Jahren festgestellt werden. Grundsätzlich stellt das Scannen der Oberseiten der Moai-Köpfe noch ein Problem dar, da geeignete Scannerstandpunkte nicht vorhanden sind. Stabile mobile Plattformen für Laserscanner oder Minidrohnen mit Kameras könnten hier die Datenerfassung unterstützen.

Der Z+F IMAGER 5006 bietet gegenüber den Trimble Scannern GX/GS101 eine deutlich höhere Scangeschwindigkeit, die es erlaubt, bei gleichem Zeitaufwand ein Objekt von sehr vielen verschiedenen Standpunkten zu scannen. Doch die kürzere Reichweite ermöglicht oft nur steile Visuren zu den größeren Moai. Durch die im Vergleich höhere Anzahl von Scannerstandpunkten und die hohe Scangeschwindigkeit werden jedoch sehr große Datenmengen (tlw. mehrere Gigabyte) generiert, die eine aufwendige Datenbereinigung und -bearbeitung erfordern. Die Bearbeitungszeiten für IMAGER-Daten sind demzufolge auch signifikant länger als bei mit dem Trimble Scanner generierten Daten. Allerdings können Objekte aufgrund der höheren Anzahl von Standpunkten vollständiger erfasst werden, da Abschattungen minimiert werden.

Die Generierung von 3D-Modellen der bereits gescannten Moai ist noch nicht vollständig abgeschlossen (April 2009). Der Arbeitsablauf für eine automatisierte photo-realistische Texturierung und Visualisierung der Moai ist mangels entsprechender optimaler Software noch nicht klar definiert. Es ist aber bereits klar geworden, dass die Datenmenge der 3D-Modelle für interaktive Visualisierungen der Moai/Ahu signifikant reduziert werden müssen. Die Datenerfassung der Moai durch terrestrisches Laserscanning wird in den nächsten Jahren fortgesetzt.

Das großartige kulturelle Erbe der Osterinsel ist in zunehmendem Maße durch die Einwirkung von Naturkräften wie Erosion, Tsunamis oder Erdbeben gefährdet. Aber auch die Einwirkungen des Menschen werden durch den stetig zunehmenden Touristenstrom immer gravierender, wie die Beschädigung einer der Figuren des Ahu NauNau durch einen betrunkenen finnischen Touristen im Jahr 2008 zeigt. Auch vom Bestand an freilaufenden Rindern und Pferden auf der Insel geht eine Gefährdung der Kulturstätten aus. 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

- AUTODESK, 2007: Easter Island Mapping Project – About the Project. <http://usa.autodesk.com/company/sponsorships/easter-island/about-the-project>.
- 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., 2007: Scanning Easter Island's Moai. – Technology & More, Trimble Engineering & Construction, 2007 (3): 12-14.
- KERSTEN, TH., LINDSTAEDT, M. & VOGT, B., 2009: 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.
- MECHELKE, K., KERSTEN, TH. & LINDSTAEDT, M., 2007: Comparative Investigations into the Accuracy Behaviour of the New Generation of Terrestrial Laser Scanning Systems. Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Gruen/Kahmen (Eds.), 2007, Vol. I, pp. 319-327.
- 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.
- VAN TILBURG, J. A., 1994: Easter Island: Archaeology, Ecology and Culture. British Museum P., 232 pages.
- VOGT, B., KERSTEN, TH., LINDSTAEDT, M., FASSBINDER, J. & MOSER, J., 2007: Terrestrial Laser Scanning and Geophysical Prospection of Selected Ahu and Moai – The First Field Season of the German Archaeological Mission to Rapa Nui in 2007. – VII Internat. Conference on Easter Island and the Pacific - Migration, Identity and Cultural Heritage, Gotland University, Sweden, Aug. 21-25, 2007.
- WELLMAN, D., 2003: Archaeological 3D Laser-scanning in the South Pacific. Rapa Nui: Easter Island. – GIM International, 17 (8): 40-43.

Anschrift der Verfasser:

THOMAS P. KERSTEN, MAREN LINDSTAEDT & KLAUS MECHELKE, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, D-22297 Hamburg, Tel.: +49-40-42827-5343, Fax: +49-40-42827-5399, e-mail: Thomas.Kersten, Maren.Lindstaedt, Klaus.Mechelke@hcu-hamburg.de

BURKHARD VOGT, Deutsches Archäologisches Institut, Kommission für Archäologie Aussereuropäischer Kulturen, Dürenstraße 35-37, D-53173 Bonn, Tel.: +49-1888-7712-0, Fax: +49-1888-7712-49, e-mail: vogt@kaak.dainst.de