

## **Terrestrisches Laserscanning und digitale Photogrammetrie zur archäologischen Dokumentation der Petroglyphen von Chichictara in Peru**

Maren LINDSTAEDT<sup>1</sup>, Thomas KERSTEN<sup>1</sup>, Martin SAUERBIER<sup>2</sup>,  
Janine PETERHANS<sup>2</sup>, Peter FUX<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hafencity Universität Hamburg, Depart. Geomatik, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg

<sup>2</sup> ETH Zürich, Institut für Geodäsie & Photogrammetrie, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich

<sup>3</sup> Universität Zürich, Abteilung Ur- und Frühgeschichte, Karl-Schmid-Str. 4, 8006 Zürich

### **Zusammenfassung**

Im Herbst 2006 wurde in Zusammenarbeit von Universität Zürich, ETH Zürich und Hafencity Universität Hamburg eine Messkampagne zur Erfassung und Dokumentation archäologisch bedeutsamer Steinzeichnungen (Petroglyphen) in Chichictara bei Palpa in Peru durchgeführt. Das interdisziplinäre Archäologieprojekt hat unter anderem als Ziel, die kulturelle und zeitliche Zuordnung und die damalige gesellschaftliche Bedeutung des Ortes Chichictara mit seinen Petroglyphen zu verstehen. Das Projekt wird von der SLSA (Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland) gefördert. Die Zeichnungen befinden sich auf großen Gesteinsbrocken, die verteilt in einer Quebrada (Trockental) des unteren Palpa-Tales liegen. Die detaillierte Erfassung der ca. 70 Steinzeichnungen wurde photogrammetrisch mit einer Canon 10D realisiert, wobei die Auswertung mit der Software PhotoModeler 5.0 erfolgt. Von den einzelnen Steinen werden derzeit 3D-Modelle generiert und die Steinzeichnungen werden zusätzlich als 3D-Vektordaten erfasst. Zur Dokumentation der jeweiligen Positionen der Petroglyphen wurde das Tal mit dem Laserscanner Trimble GS200 aufgenommen, und das Geländemodell durch Dreiecksvermaschung gebildet. Die hochauflösenden photogrammetrischen Daten der einzelnen Steine werden mit dem 3D-Geländemodell der Quebrada von Chichictara verknüpft. Anschließend wird dieses Modell in einem Geoinformationssystem integriert, das archäologische Daten enthält, die während zehnjähriger Forschungs- und Grabungsarbeiten durch vorhergehende Projekte der SLSA und der KAAK (Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen des Deutschen Archäologischen Institutes, Bonn) im Gebiet Palpa erfasst wurden.

### **1 Einleitung**

Seit nunmehr zehn Jahren finden in der weiten Umgebung von Palpa bei Nasca in der südlichen Küstenregion Perus umfangreiche wissenschaftliche Forschungstätigkeiten statt. Die anfängliche Motivation dieser Aktivitäten war es, das Phänomen der weitum bekannten prähistorischen Geoglyphen (Scharrbilder im Wüstenboden) von Nasca und Palpa zu verstehen. Die Geoglyphen werden der Paracas-Kultur (800 – 200 v. Chr.) und der ihr folgenden Nasca-Kultur (200 v. Chr. – 600 n. Chr.) zugeschrieben. Es war stets klar, dass der Archäologie natur- und ingenieurwissenschaftliche Disziplinen zur Seite stehen müssen,

um die kulturellen Hinterlassenschaften sinnvoll erfassen und interpretieren zu können. In Palpa arbeiten daher Archäologen, physische Geografen, Anthropologen, Geologen und Geodäten eng zusammen, um die Prähistorie und kulturelle Entwicklung dieser Region umfänglich interpretieren zu können. So besteht z.B. seit 1997 eine Zusammenarbeit zwischen der Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen des Deutschen Archäologischen Institutes in Bonn und dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, in der u. a. die über 600 Geoglyphen der Regionen Palpa und Nasca durch Methoden der Luftbildphotogrammetrie kartiert und dokumentiert wurden (LAMBERS 2004). Diese und noch viele weitere Daten wurden über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren Forschungs- und Grabungsarbeiten in einer Datenbank zusammengetragen. Somit wird eine archäologische Auswertung ermöglicht, die das Potential herkömmlicher Dokumentationsmethoden weit übersteigt.

Die in diesem Projekt dokumentierten Petroglyphen (Steinzeichnungen, s. Kap 2) wurden mit den modernen Methoden der digitalen Photogrammetrie und des terrestrischen Laserscannings erfasst. Der Einsatz von Photogrammetrie zur Dokumentation von Steinzeichnungen hat sich seit Jahrzehnten bewährt, doch wird seit einigen Jahren zunehmend auf die Kombination von Photogrammetrie und Laserscanning gesetzt, wie z.B. für Felszeichnungen der Aborigines in Australien (EL HAKIM et al. 2004). Dabei wird oftmals darauf verwiesen, dass ein entscheidender Vorteil des Laserscannings die Möglichkeit der genauen Oberflächenerfassung der Steine ist, die bei der Photogrammetrie durch fehlende Struktur der Steine und daraus resultierenden Matching-Probleme oft nicht gegeben ist. Aufgrund der hohen Anzahl von Petroglyphen und ihrer Verteilung über das gesamte Tal ließ sich das Laserscanning hier jedoch nur zur Erfassung des Tals einsetzen; einzelne Petroglyphen wurden nur exemplarisch gescannt. Alle 67 Zeichnungen und die zugehörigen Steine wurden photogrammetrisch erfasst und ausgewertet und anschließend in das Laserscanning-Modell des Tals integriert.

## **2 Archäologischer Hintergrund**

Die südliche Küstenregion Perus ist weltbekannt; zum einen wegen der Geoglyphen - bis zu mehreren Kilometern lange geometrische, anthropomorphe und zoomorphe Scharbilder im Wüstenboden -, und zum anderen wegen der polychromen Keramik der Nasca-Kultur, die zahlreich in Museen auf allen Kontinenten vertreten ist.

Die archäologischen Hinterlassenschaften geben einige Rätsel auf. Die Forschungen bei Palpa haben ergeben, dass die ersten Geoglyphen wohl in der Paracas-Kultur entstanden sind. Diese frühen Wüstenbodenzeichnungen wurden in Hanglage angelegt und zeigen anthropomorphe und zoomorphe Bilder. Allmählich verschoben sich die Geoglyphen auf die Hochflächen, wo die in zunehmender Häufigkeit geometrischen und meist viel größeren Geoglyphen der Nasca-Kultur entstanden. Die Forschungen haben ergeben, dass die Geoglyphen wohl in einen engen Zusammenhang mit kultischen Handlungen in Verbindung mit Wasser und Fruchtbarkeit gestellt werden sollten. Dieses Ergebnis wird erhärtet durch klimatologische Daten, die zeigen, dass die Aridisierung eines damals fruchtbareren Gebietes zu jener Zeit einsetzte, als die ersten Geoglyphen entstanden. Weitere und ergänzende Resultate über die einstigen kulturellen Vorgänge sind durch umfangreiche archäologische Prospektionen und gezielte Ausgrabungen von Siedlungs- und Bestattungsplätzen entstan-

den. Die Prähistorie dieser Gegend ist durch die erwähnten Forschungstätigkeiten in außerordentlicher Vollständigkeit mindestens ab der Initialzeit (1800 – 800 v. Chr.) bis zur Ankunft der Spanier in Peru (1532 n. Chr.) untersucht. Die im Gebiet von Nasca und Palpa zahlreich vorkommenden Petroglyphen (Chichictara ist der größte Petroglyphen-Fundort in der Region) werden bis anhin als Vorläufer der Geoglyphen angesehen. Zwar können einige Motive initialzeitlichen Kulturen zugeordnet werden, doch ist es unwahrscheinlich, dass die Petroglyphen alle zu jener Zeit entstanden. Zudem war die soziale Funktion der Petroglyphen (Abb. 1) wohl eine andere als jene der Geoglyphen. Doch: Was war die soziale Funktion der Petroglyphen? Und: Wer hat sie wann angelegt? Solche Fragen soll das Chichictara-Projekt beantworten.



**Abb. 1:** Anthropomorphe und geometrische Petroglyphen in Chichictara/Peru

Bis anhin wurden die Petroglyphen stiefmütterlich behandelt. Man war der Ansicht, dass diese Klasse archäologischer Hinterlassenschaften schwierig zu interpretieren ist. Das ist aber wohl eher ein Problem der Untersuchungsmethode, als ein Problem des zu Untersuchenden. Beschäftigt man sich lediglich mit der Ikonographie, so ist das Aussagepotential tatsächlich sehr beschränkt. Petroglyphen sind aber ein gestalterischer Eingriff in die anstehende Natur. Es ist daher klar, dass die topographische Situation bei der Interpretation mitberücksichtigt werden muss. Stellt man also die Petroglyphen in Relation zur Topographie und zu anderen archäologischen Objekt- und Fundklassen, sind sie hinsichtlich des Informationsgehaltes äußerst potentielle kulturelle Zeugnisse. Das hier beschriebene Dokumentationsverfahren, das Topographie und andere archäologische Evidenzen berücksichtigt und auch visualisieren kann, liefert eine optimale Ausgangslage für die archäologische Bearbeitung der Petroglyphen von Chichictara.

### 3 Objektaufnahme

Die Objektaufnahme wurde im Herbst 2006 von Ende August bis Mitte Oktober durchgeführt. Dabei war die Zeit für das terrestrische Laserscanning auf max. acht Tage vor Ort begrenzt, für die Photogrammetrie standen dagegen sechs Wochen zur Verfügung.

### 3.1 Terrestrisches Laserscanning

Für die Geländeaufnahme wurde der terrestrische Laserscanner MENSI GS200 der Firma Trimble eingesetzt (Abb. 3). Der Scanner arbeitet mit dem Impulslaufzeitverfahren und garantiert so eine hohe Reichweite von 200 m und mehr. Die Messrate liegt unter realen Bedingungen zwischen 1000 und 2000 Punkten / Sekunde, die Wellenlänge des Lasers beträgt 532 nm. Um die Stromversorgung für Scanner und Notebook im freien Feld zu gewährleisten, wurde ein benzinbetriebener Generator der Firma Honda mit einer max. Leistung von 1 KW eingesetzt. Das Scannen diente in erster Linie der Erfassung des Tales, um die einzelnen Felsen mit den Steinzeichnungen im Kontext der Umgebung darstellen zu können. Die Dimensionen des Tales (Abb. 2) betragen ca. 250 m in der Länge, 130 m in der Breite und eine Höhendifferenz von ca. 70 m. Erste Erfahrungen bei der Erfassung und Modellierung von Topographie konnte bereits 2004 bei der Aufnahme einer sächsischen Ringwallanlage mit dem terrestrischen Laserscanner GS100 in Schleswig-Holstein gemacht werden (HÖNNIGER & KERSTEN 2005).



**Abb. 2:** Überblick über das Seitental des Rio Palpa bei Chichictara

Die Aufnahme wurde an insgesamt sechs Tagen von 13 freien Scannerstandpunkten durchgeführt. Für die Registrierung der Punktwolken wurden 14 Kugeln als Verknüpfungspunkte (Abb. 3 rechts) im Gelände verteilt und durch eine Netzmessung mit einem Leica TCA 700 in einem lokalen Koordinatensystem bestimmt. Die Standardabweichungen der 3D-Koordinaten lagen nach der Netzausgleichung im Mittel bei 6 mm. Mit Hilfe der in Kap. 3.2 beschriebenen GPS-Messungen ließ sich das gesamte Netz in das UTM-System transformieren, um einen Bezug zu anderen Projekten der Nasca-Palpa Region herstellen zu können.

Für das Scanning des Geländes wurde eine Auflösung von 15 cm auf 100 m gewählt. Dadurch war auch in größeren Entfernungen vom jeweiligen Standpunkt eine ausreichende Punktdichte von mindestens 50 cm gegeben. Zusätzlich zur Erfassung des Geländes wurden noch von einigen Petroglyphen hoch auflösende Scans gemacht, um diese Daten später exemplarisch mit den photogrammetrischen Daten vergleichen und auch kombinieren zu können. Dabei wurden hohe Auflösungen von 3 mm und besser auf 10 m gewählt. Insgesamt wurden 27 Mio. Punkte aufgenommen, was einer Datenmenge von 512 MB entspricht.



**Abb.93:** Trimble GS200 vor Ort im Einsatz (links, Mitte), Kugel zur Standpunktverknüpfung (rechts)

### 3.2 Photogrammetrie und GPS

Um fundierte ikonographische Studien und eine GIS-basierte archäologische Analyse der Petroglyphen in ihrem räumlichen Umfeld realisieren zu können, erfolgte eine detaillierte, dreidimensionale Erfassung und Dokumentation der Petroglyphen durch photogrammetrische Methoden. Dazu wurde jeweils der gesamte, von Petroglyphen bedeckte, Felsblock je nach Größe mit ca. 20 bis 80 Bildern aufgenommen, so dass die relativ hohe Anzahl von Bildern eine zuverlässige Auswertung erlaubte. Die Petroglyphen, die sich auf Steinen der Felswand befinden, konnten dagegen nur aus einer Richtung aufgenommen werden. Ansammlungen von Petroglyphen, die sich über mehrere benachbarte Felsblöcke erstreckten, wurden als gemeinsamer Bildverband erfasst. Für die photogrammetrischen Aufnahmen wurde eine digitale CMOS-Spiegelreflexkamera Canon D10 mit 6.3 Megapixel Auflösung verwendet. Insgesamt wurden auf diese Weise 60 Felsen bzw. Felskomplexe mit 67 Petroglyphen in einem Zeitraum von sechs Wochen erfasst. Abb. 4 zeigt exemplarisch zwei Felsblöcke mit Petroglyphen und photogrammetrischen Zielmarken sowie Maßstab und Nordpfeil.



**Abb.94:** Felsblock mit Passpunkten und Nordpfeil (links), sowie mit Maßstab (rechts)

Um eine genaue Positionierung der aus der photogrammetrischen Auswertung resultierenden, zunächst beliebig orientierten, texturierten 3D-Modelle in das Geländemodell zu ge-

währleisten, wurden differentielle GPS-Messungen mit Trimble-Handheldempfängern GeoExplorer XT (Abb. 5) durchgeführt und ein nach Norden ausgerichteter Pfeil neben einem Maßstab im Objektraum platziert (Abb. 4). Dadurch sollte die geforderte Genauigkeit von  $\pm 1$  m für die Positionierung der photogrammetrisch abgeleiteten 3D-Modelle im übergeordneten Koordinatensystem UTM realisiert werden können. Bereits während der Feldkampagne stellte sich jedoch heraus, dass die GPS-Messungen nur in seltenen Fällen die vom Hersteller angegebene Genauigkeit von  $\pm 0.3$  m erreichten, da die Felswand sowie die umliegenden Berghänge einen großen Teil des Horizonts abdeckten und somit eine Sichtverbindung zu mehr als vier Satelliten kaum erreicht wurde. Die Genauigkeiten lagen in schlechten Fällen nicht besser als  $\pm 2$  m. Aus diesem Grunde wurden zusätzlich Referenzpunkte auf beiden Talseiten über einen längeren Zeitraum bestimmt, um die Resultate der oben beschriebenen Netzmessung in das übergeordnete Koordinatensystem transformieren zu können.



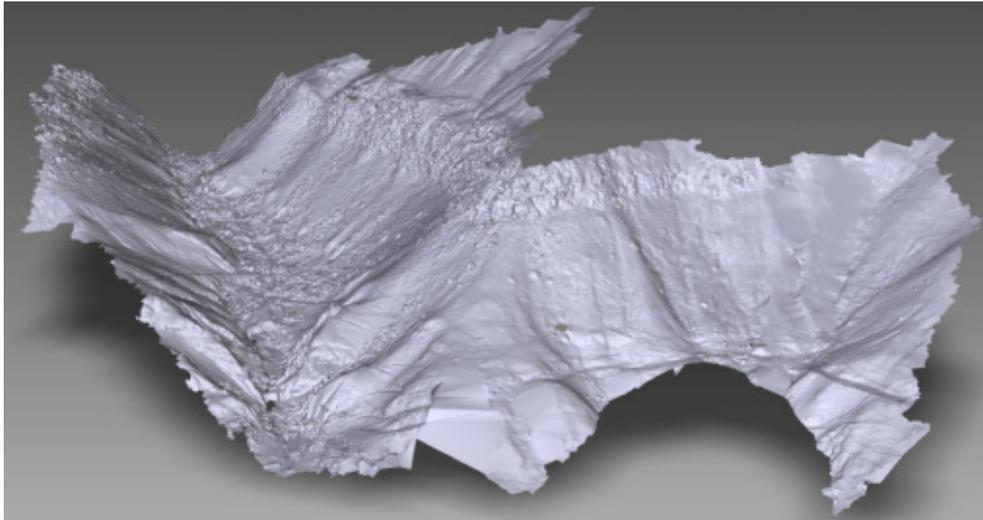
**Abb.95:** GPS-Empfänger (rechts) auf einem 3D-Netzpunkt (Referenz- bzw. Verknüpfungspunkt für die Punktwolken vom Laserscanning)

## 4 Datenauswertung

### 4.1 Terrestrisches Laserscanning

Der erste Schritt der Datenauswertung war die Registrierung der Punktwolken, die von verschiedenen Scannerstandpunkten erfasst wurden. Alle Punktwolken, die am gleichen Tag aufgenommen wurden, wurden über die im Feld aufgestellten Verknüpfungspunkte (Abb. 3 und 5 rechts) zueinander registriert. Anschließend wurden jeweils diese Gruppen von zwei bis drei Standpunkten in ein lokales Koordinatensystem transformiert. Die Genauigkeiten für die Registrierung lagen für alle Gruppen zwischen 1,5 cm und 2,5cm, was für eine Geländemodellierung als ausreichend genau angesehen werden kann.

Im nächsten Schritt wurde ein digitales Geländemodell erstellt. Dafür wurde die Gesamtpunktwolke auf ca. 2 Mio. Punkte ausgedünnt, so dass der Punktabstand noch ca. 50 cm betrug. Dieser Abstand wurde als noch ausreichend erachtet, um das Tal mit all seinen Details modellieren zu können; eine höhere Punktdichte führt aufgrund der hohen Datenmenge zu Schwierigkeiten bei der Bearbeitung am PC und wegen der Geländecharakteristik zu einer unruhigen Geländedarstellung. Die Modellierung des Geländes wurde mit der Software Geomagic durchgeführt, eine Darstellung des gesamten Modells ist in Abb. 6 zu sehen. Für die spätere Visualisierung kann noch eine Textur aus ASTER-Satellitenbildern auf das Tal aufgebracht werden, für die Integration der ausgewerteten Steine genügte jedoch zunächst das reine Modell.



**Abb. 6:** Geländemodell des Nebentals des Rio Palpa, erstellt mit Raindrop Geomagic

## 4.2 Photogrammetrie

Die photogrammetrische Auswertung wird derzeit an der ETH Zürich durchgeführt. Für die Orientierung der Bilder wird die Software Photomodeler 5.0 benutzt. Hierzu werden jeweils alle Bilder eines Felsens bzw. Felskomplexes in einem gemeinsamen Projekt verarbeitet. Nach Messung der signalisierten Verknüpfungspunkte wird eine Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung gerechnet und das Modell unter Benutzung der in den Bildern vorhandenen Maßstäbe skaliert. Für die Kamerakalibrierung werden die Ergebnisse einer Testfeldkalibrierung als Näherungswerte verwendet. Da die Orientierung der Bilder noch im Prozess ist, können noch keine definitiven Genauigkeitsangaben hierzu gemacht werden. Aufgrund der Aufnahmekonfiguration (Bildmaßstab, Distanz zum Objekt, Basis) und der verwendeten Kamera lässt sich eine Genauigkeit in X und Y (Lage) von etwa  $s_{x,y} \approx 0.8$  mm und in Aufnahme­richtung Z von  $s_z \approx 2$  mm erwarten (LUHMANN 2000). Damit sollte es möglich sein, den größten Teil der Petroglyphen dreidimensional zu erfassen. Bei den zehn bisher orientierten Bildverbänden lag die Genauigkeit im Bereich von ca. einem Pixel, was

bei einem Bildmaßstab von ca. 1:100 in etwa der erwarteten Genauigkeit von 1-2 mm im Objektraum entspricht.

Für die Modellierung der Felsblöcke und Petroglyphen werden gegenwärtig zwei Methoden untersucht und verglichen:

- Ein Teil der Steine, speziell die eher regelmäßig geformten, lassen sich effizient manuell modellieren. Die hierzu erforderlichen Punktmessungen und die Definition von Polygonen sowie die Zuweisung von Texturen wird in PhotoModeler 5.0 durchgeführt (Abb. 7). Die erzeugten texturierten 3D-Modelle werden in die Formate VRML oder 3D Studio Max exportiert.
- Die eher unregelmäßig geformten Steine können mittels automatischer Oberflächenrekonstruktion (Image Matching) modelliert werden. Derzeit wird untersucht, wie genau die 3D-Modellierung der Petroglyphen selbst durch Image Matching möglich ist. Hierzu wird die ETH-Software CLORAMA (CLOse RANge MATCHing), die den an den Nahbereichsfall angepassten Matcher von SAT-PP (Satellite Imagery Precision Processing) (Zhang 2005) für die Zuordnung von Feature Points, Grid Points und Kanten verwendet, untersucht. Bevor das Image Matching durchgeführt werden kann, ist die manuelle Messung einiger Seed Points pro Bildpaar notwendig.



**Abb. 7:** Manuell gemessene Punkte und deren Dreiecksvermaschung (links), texturiertes 3D-Modell desselben Steines (rechts)

Derzeit werden die Resultate beider Verfahren verglichen, um ihre Eignung in Bezug auf die 3D-Erfassung der Felszeichnungen zu untersuchen. Abbildung 7 zeigt exemplarisch eine Ansicht des texturierten 3D-Modells eines Felsblockes mit einigen Petroglyphen im VRML-Format.

## 5 Datenintegration

Die Integration der – noch – beliebig im Raum orientierten, jedoch bereits texturierten, 3D-Modelle der einzelnen Felsen und Felskomplexe mittels der durchgeführten GPS-Messungen stellte sich aufgrund der schlechten Genauigkeiten als relativ ungenaue Methode heraus. Daher wurde entschieden, die GPS-Werte als Näherungen zu verwenden und die genaue Positionierung über identische Punkte im Laserscanning-DGM und den jeweiligen

Einzelmodellen durchzuführen. Die dafür durchzuführende Transformation der zunächst im VRML-Format vorliegenden 3D-Modelle der Felsen muss in diesem Fall so realisiert werden, dass zwei Bedingungen eingehalten werden:

- Es muss möglich sein, mehr als die mindestens nötige Anzahl identischer Punkte zu messen, um eine genaue Einpassung der Felsmodelle in das DGM zu gewährleisten. Daher muss eine Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate implementiert werden.
- Das Resultat soll ein File in einem geeigneten 3D-Format (VRML, X3D, Collada) sein, welches im UTM-System vorliegt. Insbesondere müssen dabei die Texturkoordinaten mit transformiert werden.

Zu diesem Zweck wird zur Zeit die neueste Version von Geomagic Studio 9 evaluiert, da mit dieser Software texturierte 3D-Modelle als Objektfile oder als VRML importiert und verarbeitet werden können.

## 6 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Petroglyphen von Chichictara und das Trockental konnten durch den Einsatz von Photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning effizient erfasst und dokumentiert werden. Das Laserscanning erwies sich als einzige Möglichkeit, das Tal mit dem gewünschten Detailreichtum zu erfassen, Satellitenbilder hätten durch die geringe Auflösung nur ein sehr grobes Geländemodell ergeben, Luftbilder lagen zur Auswertung nicht vor und aufgrund der geringen Gebietsgröße kam eine Befliegung nicht in Frage. Der relativ hohe Aufwand für die Feldarbeit von sechs Tagen ließ sich durch die zügige Bearbeitung der Punktwolke am Rechner innerhalb von zwei Tagen wieder ausgleichen.

Um die 3D-Dokumentation der Petroglyphen möglichst intuitiv und effizient durchführen zu können, wird an der ETH Zürich ein 3D-Messtool entwickelt, welches es den Archäologen erlaubt, auf Basis der texturierten 3D-Modelle die Petroglyphen zu digitalisieren. Der Vorteil dieser dem Monoplotting entsprechenden Methode ist, dass die Arbeit praktisch an jedem beliebigen Rechner plattformunabhängig durchgeführt werden kann, eine Stereofähigkeit und -ausrüstung sind nicht erforderlich. Als Nachteil muss ein Genauigkeitsverlust in Kauf genommen werden, nicht nur durch die monoskopische Bildbetrachtung, sondern auch durch Qualitätsverluste bei der Textur, die bei den meisten 3D-Formaten im JPEG-Verfahren nicht verlustfrei komprimiert wird und außerdem durch die Anwendung von Levels of Detail (LoD) weiter reduziert wird. Doch dafür ist der Arbeitsaufwand von geodätischer Seite geringer, mit der Modellierung und Integration der Felsmodelle ist die Bearbeitung abgeschlossen und der Archäologe kann selbst entscheiden, welche der Zeichnungen er digitalisieren möchte. Außerdem soll getestet werden, ob die Petroglyphen auch in einer kombinierten Auswertung von digitalen Bildern und Punktwolken (entweder durch Laserscanning erfasst oder durch Image Matching generiert) mit der Software PHIDIAS ähnlich effizient wie bei der steingerechten Auswertung des Nordportals des alten Dammes in Marib/Jemen erfolgen kann (SOMMER & KERSTEN 2007).

Durch die in diesem Projekt angewandten modernen Messmethoden lassen sich für Archäologen vielfältige und neue Möglichkeiten der Untersuchung und Auswertung generieren,

die die herkömmlichen Dokumentationsmethoden inzwischen weit übertreffen. Durch den Einsatz von Geoinformationssystemen und weiteren schon vorhandenen archäologischen Daten sind vielfältige Analysen unter Einbezug der Lage von Objekten möglich, die räumliche Zusammenhänge aufdecken, die sonst nicht auf den ersten Blick erkennbar sind.

## 7 Dank

Die Autoren danken der SLSA (Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland) für die Finanzierung des Projektes. Außerdem gilt besonderer Dank der Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen (KAAK) Bonn des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) für die Unterstützung in Palpa / Peru.

## 8 Literatur

- El-Hakim, S. F., Fryer, J., Picard, M., Whiting, E. (2004): *Digital Recording of Aboriginal Rock Art*. Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'2004). Ogaki, Japan. November 17-19, 2004. pp. 344-353. NRC 48049.
- Hönniger, C., Kersten, Th. (2005): *Topografische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System GS100 von Mensi*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 224-231.
- Lambers, K. (2004): *The Geoglyphs of Palpa, Peru: Documentation, Analysis and Interpretation*. Thesis presented to the Faculty of Arts of the University of Zurich for the degree of Doctor of Philosophy, 214 S.
- Luhmann, T. (2000): *Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, ISBN 3-87907-321-X.
- Sommer, A., Kersten, Th. (2007): *3D – Erfassung und Modellierung des Nordportals des alten Damms in Marib/Jemen durch Kombination von digitaler Architekturphotogrammetrie und terrestrischem Laserscanning*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2007, Th. Luhmann und Ch. Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Zhang, L. (2005): *Automatic digital surface model (DSM) generation from linear array images*. IGP Mitteilungen 88, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich, PhD dissertation.