



CORNELIA KLEINITZ, HEINZ RÜTHER UND CLAUDIA NÄSER

DIE 3D-LASERSCAN-ERFASSUNG DER GROSSEN ANLAGE UND WEITERER MONUMENTE VON MUSAWWARAT ES SUFRA – EIN BEITRAG ZUR VIRTUELLEN ERHALTUNG UND PRÄSENTATION DES SUDANESISCHEN KULTURERBES

EINLEITUNG

Bereits im Rahmen der Feldkampagne des Jahres 2009 wurden im Zuge einer Kooperation zwischen dem Lehrbereich Ägyptologie und Archäologie Nordostafrikas am Institut für Archäologie der Humboldt-Universität zu Berlin, der Sudanarchäologischen Gesellschaft zu Berlin e.V. und der *School of Architecture, Planning and Geomatics* der Universität Kapstadt 3D-Laserscans der Großen Anlage sowie weiterer Monumente des antiken Bauensembles von Musawwarat es Sufra angefertigt (Kleinitz, Bauer & Näser 2009, 33). Da die Erstellung der auf diesen Messungen basierenden digitalen 3D-Modelle und die Aufbereitung weiterer Datensätze an der Universität Kapstadt mehrere Monate nach Beendigung der Feldkampagne in Anspruch nahm, können erst jetzt Ergebnisse dieser Arbeiten vorgestellt werden. Die Datensätze aus Musawwarat es Sufra sind in die *African Cultural Heritage and Landscape Database* eingeflossen und gegenwärtig über das Web-Interface *Zamani* (www.zamani-project.org) bzw. über einen Link via die SAG-Webseite (www.sag-online.de) zugänglich.

HINTERGRUND UND ZIELSTELLUNG

Neben der herkömmlichen Restaurierung vor Ort hat in den letzten Jahren verstärkt die digitale Dokumentation, Archivierung und Präsentation von monumentaler Architektur Einzug in die globalen Bemühungen um den Kulturerhalt gefunden. Auf dem afrikanischen Kontinent sind Initiativen wie die *African Cultural Heritage and Landscape Database* in besonderer Weise diesem Ziel verbunden. Diese Datenbank wurde von Prof. Dr. Heinz Rütther, vormals Professor an der *School of Architecture, Plan-*

ning and Geomatics an der Universität Kapstadt, entwickelt und von der *Andrew W. Mellon Foundation* finanziell unterstützt. Sie soll zum einen dazu dienen, international mehr Aufmerksamkeit für das afrikanische Kulturerbe zu erregen. Zum anderen soll sie dazu beitragen, der Forschung, den Denkmalschutzbehörden aber auch der Öffentlichkeit metrisch akkurate digitale Datensätze zu wichtigen Kulturerbestätten für nichtkommerzielle Zwecke zur Verfügung zu stellen. Diese können dann für Bildungszwecke, für die touristische Erschließung, aber auch für Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen genutzt werden.

Die *African Cultural Heritage and Landscape Database* fokussiert insbesondere auf die räumliche Dimension des afrikanischen Kulturerbes: Monumente und Landschaften werden mittels eines Laserscan-Verfahrens dreidimensional erfasst. Bislang wurden so einzigartige und bedeutende Monumente bzw. archäologische Orte wie die Felsenkirchen von Lalibela und das Stelenfeld von Axum (Äthiopien), die Großen Moscheen von Djenné und Timbuktu (Mali), die Forts von Elmina (Ghana) und Lamu (Kenia), die Städte der Swahili-Küste Kilwa Kisiwani und Songo Mnara (Tansania), die Ruinen von Engaruka (Tansania), Great Zimbabwe (Zimbabwe) und Mapungubwe (Südafrika) dokumentiert. Mittels des Web-Interfaces *Zamani* (Swahili: ‚die Vergangenheit‘) wurden bereits detaillierte 3D-Modelle zu diesen und weiteren Kulturerbestätten zugänglich gemacht (siehe www.zamani-project.org). Neben den 3D-Modellen und anderen räumlichen Daten sollen zusätzlich weitere, kontextuelle Datensätze via *Zamani* zur Verfügung gestellt werden. Musawwarat es Sufra ist nun der erste und bislang einzige Altertümpelplatz des Sudan, der im Rahmen dieses Projekts erfasst wurde (Abb. 1).



Abb. 1: 3D-Modell der Großen Anlage von Musawwarat es Sufra (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

Neben der *Zamani*-Webseite ist die *African Cultural Heritage and Landscape Database* auch über die Web-Plattform *Aluka* zugänglich. *Aluka* ist eine nichtkommerzielle, globale Kooperation, deren Ziel es ist, das kulturelle Erbe des afrikanischen Kontinents zu bewahren und der interessierten Öffentlichkeit ebenso wie der Wissenschaft leicht zugänglich zur Verfügung zu stellen (siehe www.aluka.org). Besonders hervorzuheben ist, dass der Zugang zu allen Inhalten dieser Plattform für AfrikanerInnen kostenfrei ist. Damit eröffnet *Aluka* gleichzeitig eine wichtige bildungs- und entwicklungspolitische Perspektive. Neben der *African Cultural Heritage and Landscape Database* und anderen archäologischen Archiven sind auf *Aluka* Datensammlungen zu solch unterschiedlichen Themen wie dem Freiheitskampf im südlichen Afrika oder afrikanischen Pflanzen archiviert.

Im Jahre 2008 traten die Koordinatoren von *Aluka* mit der Frage an Cornelia Kleinitz heran, ob die Mission der Humboldt-Universität zu Berlin Interesse daran hätte, die Bauten der global einzigartigen Großen Anlage von Musawwarat mit einem Laserscan-Verfahren dokumentieren zu lassen und als 3D-Architektur-Modell in die *African Cultural Heritage and Landscape Database* einzubringen. Die Aussicht, die auf dieser Basis erstellten 3D-Modelle nicht nur als Präsentationsobjekte, sondern insbesondere auch als wichtige Instrumente für die weitere wissenschaftliche und denkmalpflegerische Arbeit im Rahmen der Mission der Humboldt-Universität in Musawwarat nutzen zu können, ließ die Entscheidung für eine Kooperation leicht fallen.

Die Dokumentationsarbeiten in Musawwarat wurden weitgehend durch die südafrikanischen Kooperationspartner finanziert; sie produzierten



Abb. 2: Das Team der Universität Kapstadt. Von links nach rechts: Schroeder, Held, Rüther, Bhurtha, Wessels (Foto: Jens Weschenfelder).

auch die 3D-Modelle und übernahmen die Einstellung in *Zamani* und in *Aluka*. Ein kleiner Kostenanteil für die organisatorische und logistische Unterstützung des Projekts in Musawwarat wurde dankenswerterweise vom Programm "Kulturerhalt" des Auswärtigen Amtes der Bundesrepublik Deutschland getragen.

DURCHFÜHRUNG DES PROJEKTS

Im Rahmen eines insgesamt zweiwöchigen Aufenthalts der südafrikanischen Kollegen in Musawwarat wurden die Große Anlage, der Löwentempel und der Große Hafir mittels 3D-Laserscan bzw. (im Falle des Außenbereichs des Hafirs) mit RTK (Real Time Kinematic)-GPS dokumentiert. Nachdem das Projekt nahezu an der späten Ausstellung der Visa für die südafrikanischen Kooperationspartner sowie am sudanesischen Zoll gescheitert wäre, kam das Team der Universität Kapstadt am 8. Februar 2009 mit zwei Laserscannern in Musawwarat es Sufra an. Neben dem Projektleiter, Prof. Dr. Heinz Rüther, waren seine Mitarbeiter Christoph Held, Stephen Wessels, Roshan Bhurtha und Ralf Schroeder ange-reist (Abb. 2). Zum Team der Humboldt-Universität zu Berlin, das die Laserscanarbeiten logistisch und organisatorisch unterstützte, zählten neben Cornelia Kleinitz auch Tim Karberg, Jens Weschenfelder, Rebekka Mucha und Thomas Scheibner.

Die Arbeiten in der Großen Anlage begannen mit der gemeinsamen Inspektion der für die Dokumentation ausgewählten Monumente. Der labyrinthartige Charakter der Großen Anlage mit ihren zahlreichen mehr oder weniger gut erhaltenen Mauern,

Gängen und Rampen sollte für die Vermesser zu einer Herausforderung werden, da die Erfassung des Baukomplexes in seiner Gesamtheit eine sehr hohe Zahl an Scanpositionen erforderte. Als erste Scanposition wurde ein Standpunkt auf einer der Mauern des Zentraltempels ausgewählt, von der die Große Anlage in ihrer gesamten Ausdehnung von ca. 250 x 200 m in einem Überblickscan erfasst werden konnte. Hierzu wurde ein mittels eines Generators betriebener Leica HDS-3000-Scanner mit einer Reichweite von bis zu 130 m eingesetzt, der über 3-4 Stunden horizontal in

einem 360°-Winkel und vertikal in einem -45 bis 0°-Winkel und einer Auflösung von 5 x 3 cm über 100 m die gesamte Große Anlage scannte (Abb. 3). Der HDS-3000 wurde im Verlaufe der Arbeiten mehrfach umgesetzt und lieferte so Überblickscans hoher Reichweite und relativ niedriger Auflösung (Wessels 2009).

Der zweite Scanner, ein batteriebetriebener Leica HDS-6000, wurde für detailliertere Scans über kürzere Entfernungen eingesetzt. Mit einer Auflösung von 2 cm über 25 m Entfernung und einer Scandauer



Abb. 3: Erste Scanposition des HDS-3000 im Bereich des Tempels 100 (Foto: Stephen Wessels).



Abb. 4: Christoph Held beim Umsetzen des HDS-6000 (Foto: Stephen Wessels).

Abb. 5: Der HDS-6000 auf einer Mauerkrone im Komplex 500 der Großen Anlage (Foto: Stephen Wessels).



Abb. 6: Generatorenfriedhof (Foto: Christoph Held).



von nur 3,5 Minuten pro 360° Scan, konnte dieses Gerät in der komplexen Architektur der Großen Anlage schnell umgesetzt werden (Abb. 4). Auch die Positionierung dieses Scanners erforderte zuweilen bergsteigerische Fähigkeiten, da er oftmals auf den Mauerkronen aufgestellt werden musste (Abb. 5). Normalerweise werden die einzelnen Scans in der Nachbearbeitung auf der Grundlage von targets, also Markierungen, die auf Objekten im Scanbereich angebracht wurden und als Orientierungshilfe dienen, zusammengefügt. Das Anbringen von targets wurde jedoch im Falle der Großen Anlage – für deren Aufnahme insgesamt ca. 360 Einzelscans nötig waren – als zu zeitaufwändig erachtet und durch die Orientierung mittels geometrischer Oberflächenmerkmale ersetzt. Auch wurden die Scanpositionen und diagnostischen Architekturelemente durch das sehr präzise RTK-GPS registriert (Wessels 2009).

Unterbrochen wurden die Arbeiten immer wieder von Sandstürmen, die die empfindlichen Scanner zu beeinträchtigen drohten. Ein Generatorensterben,



Abb. 7: Einlesen der Scandaten vor Ort in der Großen Anlage (Foto: Stephen Wessels).



Abb. 8: Dokumentation des Löwentempels von Musawwarat (Foto: Cornelia Kleinitz).

dem alle drei im Camp vorhandenen Generatoren zum Opfer fielen, verlangsamte die Arbeiten weiter (Abb. 6). Neben der Solaranlage des Camps musste nun auch die Batterie eines der Geländewagen zum Betreiben der Scanner und zum Laden der Geräteakkus genutzt werden. Trotz aller Widrigkeiten konnten die Arbeiten an der Großen Anlage erfolgreich abgeschlossen werden (Abb. 7). In der verbleibenden Zeit wurden zusätzlich der Löwentempel sowie der Innenraum des Großen Hafirs vollständig gescannt (Abb. 8).

ERGEBNISSE UND PRÄSENTATION

Die Nachbearbeitung der in Musawwarat aufgenommenen Daten und die Erstellung der 3D-Modelle an der Universität Kapstadt nahmen mehrere Monate in Anspruch. Die von den Laserscannern erfassten Daten liegen zuerst als sogenannte Punktwolken vor. Diese entstehen durch die akkurate Erfassung der räumlichen Position von Punkten auf der Oberfläche von Objekten (Farbabb. 5). Während eine Punktwolke am Bildschirm bereits einen visuellen Eindruck von der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts gibt, ist sie selbst jedoch noch kein 3D-Modell. Erst durch die Verbindung benachbarter Punkte während der Modellierung, auch als Vermaschung bezeichnet, entstehen meist dreieckige Polygone, die nach weiteren Arbeitsschritten letztlich die Oberflächen der 3D-Modelle bilden (Abb. 9). Die fertigen 3D-Modelle sind digitale, dreidimensionale und maßstabsgetreue visuelle Repräsentationen physischer Objekte in digitaler Form (siehe <http://www.zamani-project.org/samples>). Nach der

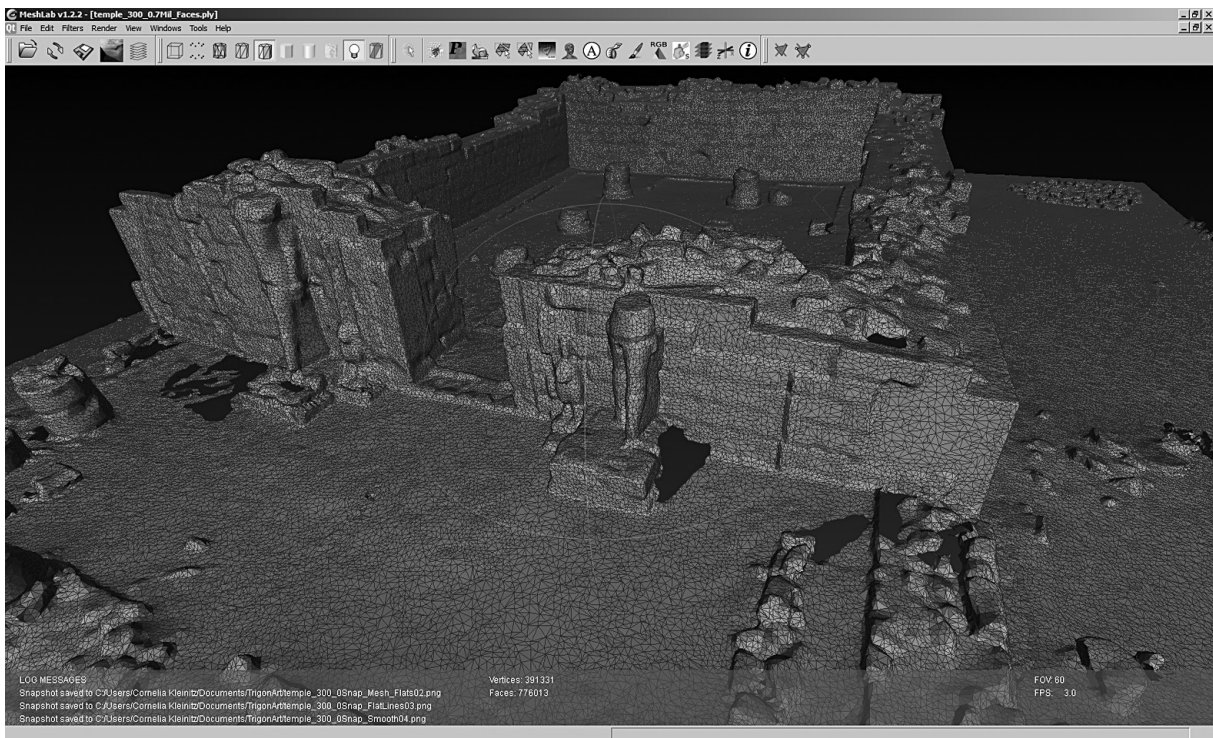


Abb. 9: 3D-Modell des Tempels 300: Polygone der Oberfläche (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

Fertigstellung der 3D-Modelle der aufgenommenen Bauwerke von Musawwarat wurden Kopien der Dateien an die Humboldt-Universität übergeben (Abb. 10-15). Diese Modelle liegen in unterschiedlichen Auflösungen (hoch, mittel, gering) vor, die die Abbildung von mehr oder weniger Details erlauben. Für die Öffentlichkeit sind gegenwärtig Bildschirm-

fotos der 3D-Modelle über die *Zamani*-Webseite abrufbar (siehe <http://www.zamani-project.org/index.php?a=screenshots&id=43>).

Neben Screenshots der 3D-Modelle von Musawwarat präsentiert *Zamani* eine Reihe weiterer Datensätze zum Fundplatz, unter anderem Schnitte durch die Modelle. Die 3D-Modelle können horizontal in

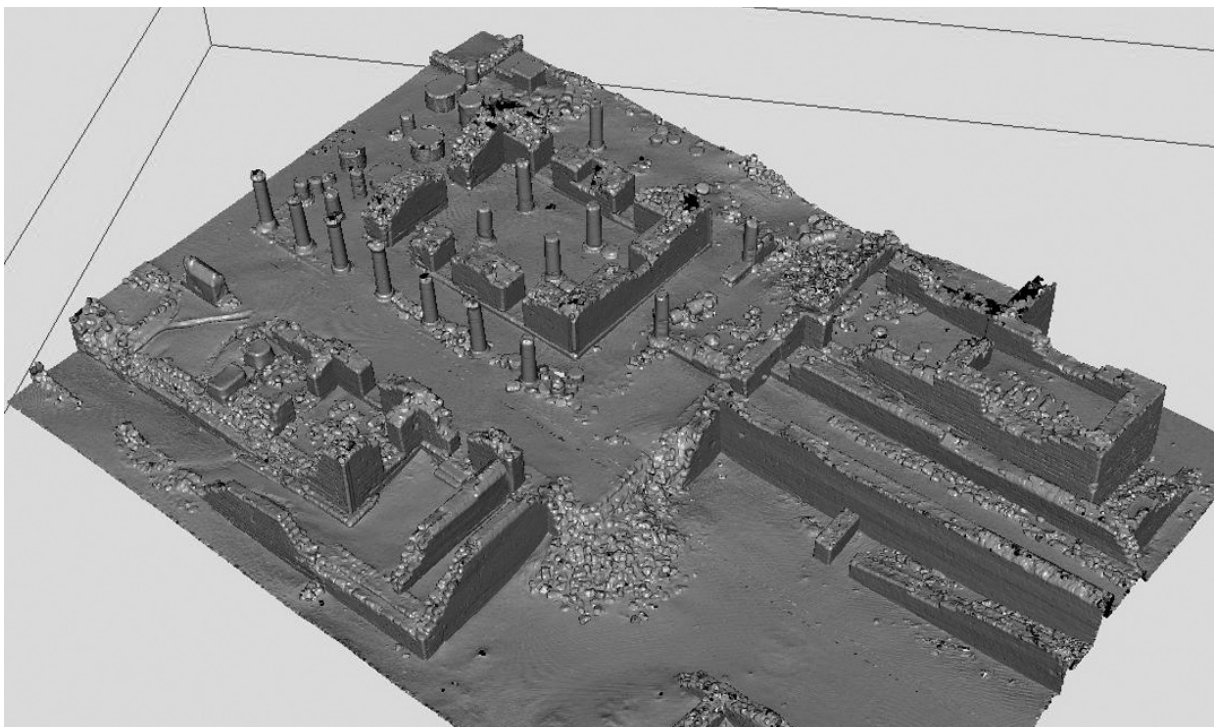


Abb. 10: Teil der Zentralterrasse mit Tempel 100 (Bildschirmfoto des 3D-Modells).



Abb. 11: Teil des Komplexes 200 von NW gesehen (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

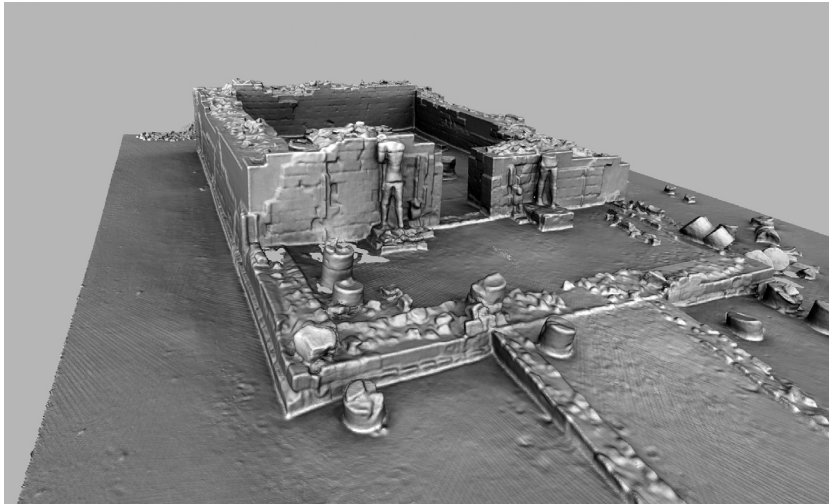
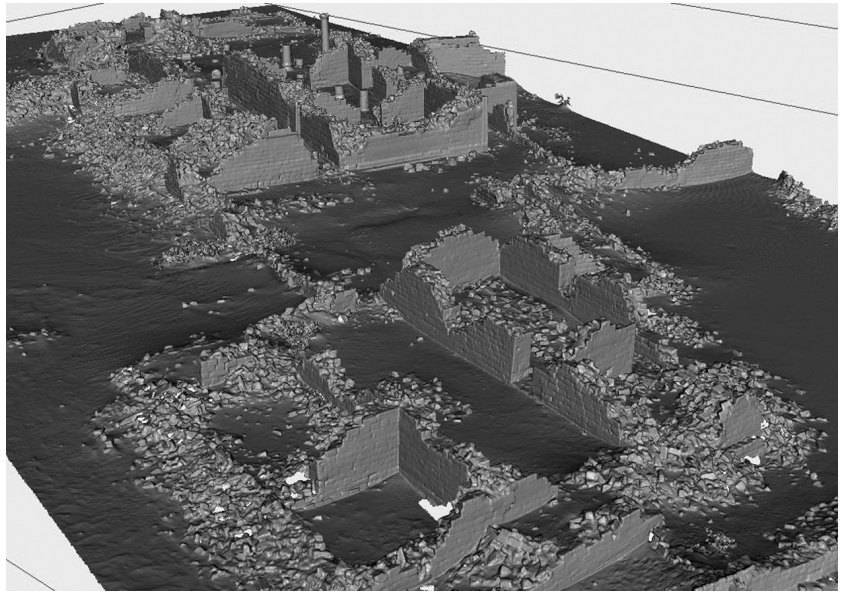


Abb. 12: Blick auf den Tempel 300 von SW (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

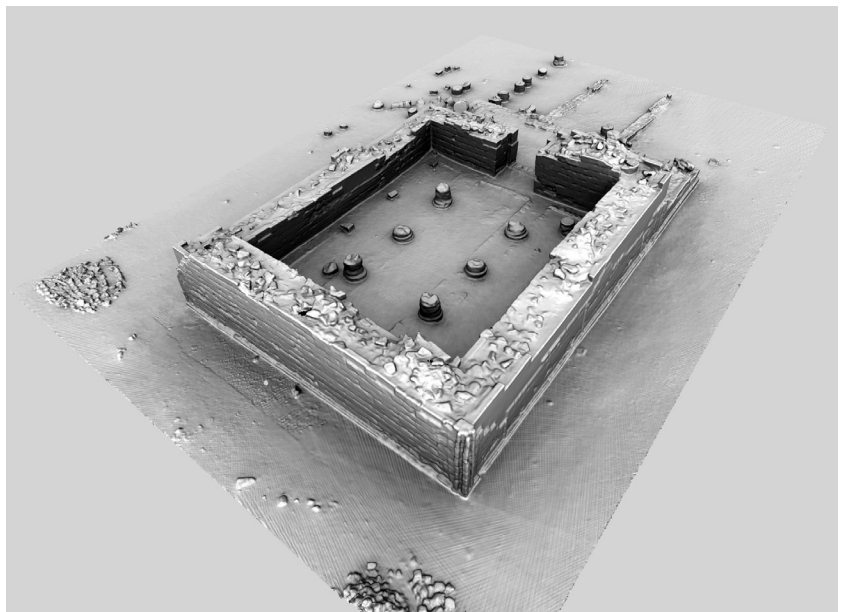


Abb. 13: Blick auf den Tempel 300 von NW (Bildschirmfoto des 3D-Modells).



Abb. 14: Der Löwentempel von NO gesehen (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

jeder beliebigen Höhe geschnitten werden, so dass z.B. maßstabsgetreue Pläne auf Boden- oder Dachniveau erstellbar sind. Vertikale Schnitte durch die Modelle ergeben ebenso maßstabsgetreue Schnitte und Aufrisse. Eine Auswahl an Plänen und Aufrissen ist bereits über *Zamani* zugänglich (siehe <http://www.zamani-project.org/index.php?a=sectionsplans&id=36>) (Abb. 16).

Weiterhin werden auf *Zamani* Fotos des Fundplatzes sowie eine Panoramatour präsentiert. Letztere basiert auf HDR (High Dynamic Range)-Panoramabildern, die vor Ort vom Team der Universität Kapstadt angefertigt wurden. Die Tour ermöglicht es dem Betrachter, von den jeweiligen Panoramapositionen mit ihren 360°-Rundblicken ausgehend, einen virtuellen Spaziergang durch die Große Anlage

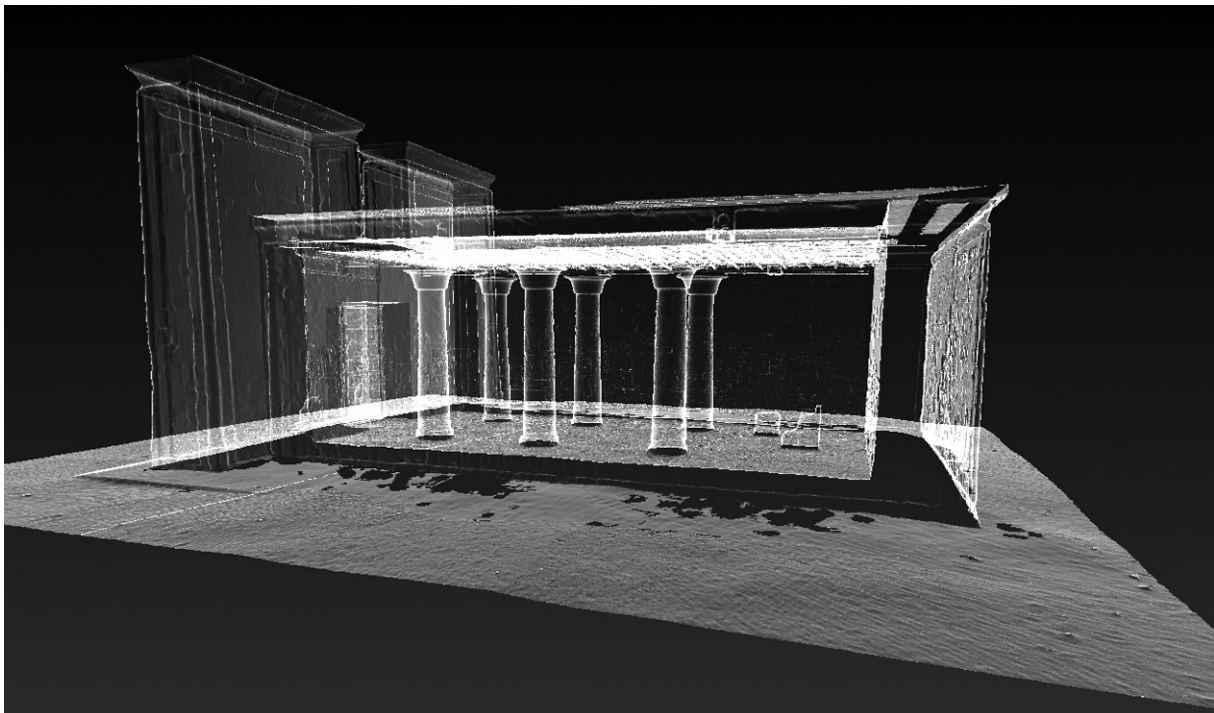


Abb. 15: Der Löwentempel (durchsichtig) von NO gesehen (Bildschirmfoto des 3D-Modells).

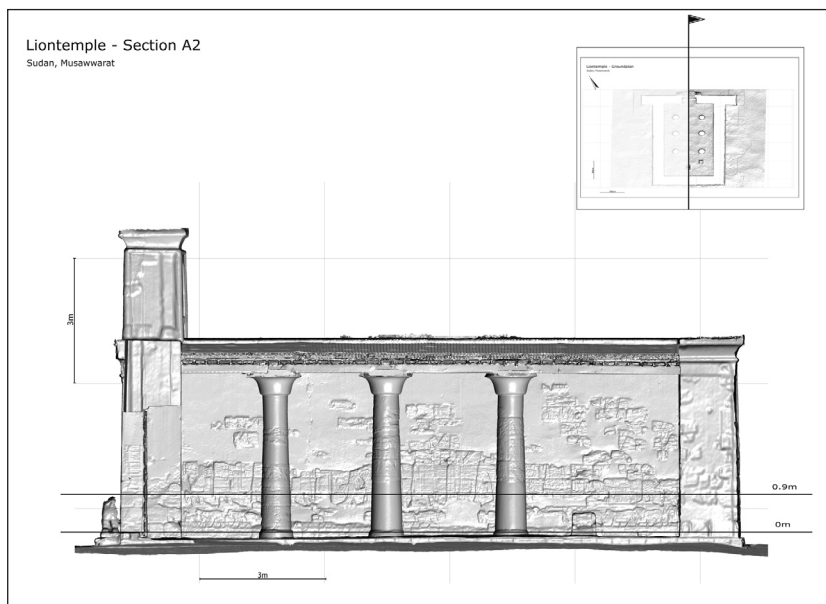


Abb. 16: Längsschnitt durch den Löwentempel.

zu unternehmen (siehe <http://www.zamani-project.org/map/Sudan/Musawwarat>).

Zusätzlich zu diesen, gegenwärtig über das *Zamani*-Webinterface zugänglichen Daten haben die Kollegen der Universität Kapstadt ein GIS (Geographical Information System) der Großen Anlage entwickelt, das verschiedene räumlich referenzierte Daten beinhaltet. Im Rahmen ihrer BA-Abschlussarbeit an der Universität Kapstadt unter der Betreuung von Prof. Heinz Rüter hat die Studentin Ayanda Naphakade auf der Basis von mehr als 100 RTK-GPS Positionsmessungen von Sekundärbildern und -inschriften an den Wänden der Großen Anlage ein Graffiti-GIS erstellt, das die Grundlage für weitere Arbeiten im Rahmen des Musawwarat-Sekundärbilderprojekts bildet (zu diesem Projekt siehe Kleinitz 2008). Das Graffiti-GIS ermöglicht die Darstellung eines jeden erhaltenen und genau eingemessenen Sekundärbilds in seiner absoluten Position im Grundplan der Großen Anlage. Auf dieser Basis können z.B. schnell und

unkompliziert Verteilungspläne bestimmter Motivgruppen oder Inschriften in der Großen Anlage erstellt werden. Motivbeschreibungen und weitere Metadaten zu den einzelnen Graffiti sind über eine Microsoft Access-Datenbank mit dem Graffiti-GIS verbunden (Abb. 17 und 18). Ergebnisse der 3D-Laserscanarbeiten in Musawwarat fließen somit auch direkt in die aktuellen Forschungsarbeiten ein.

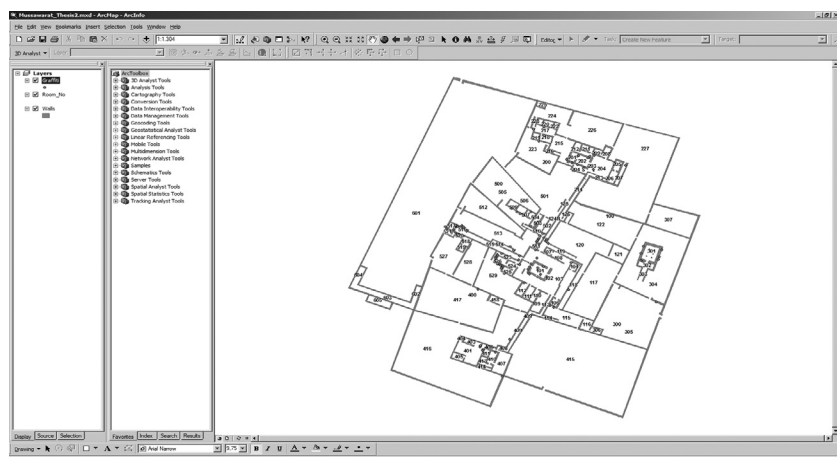


Abb. 17: Graffiti-GIS: Große Anlage mit Verortung einer Auswahl an Sekundärbildern.

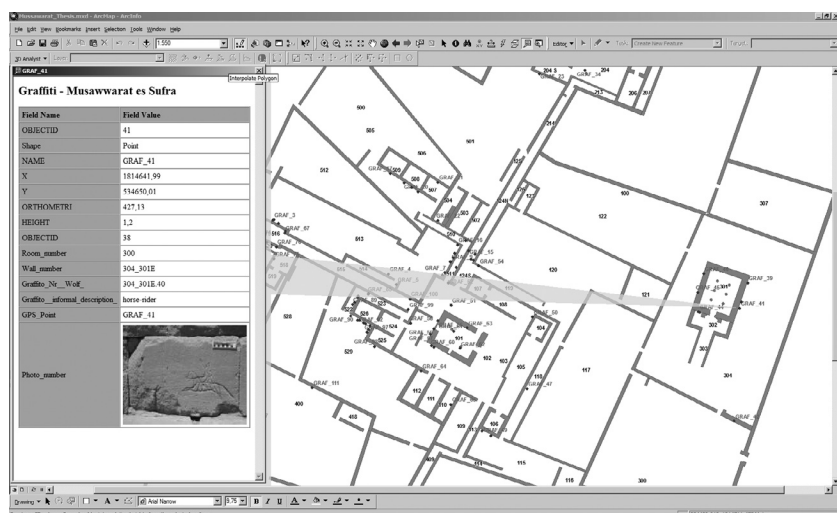


Abb. 18: Graffiti-GIS: Aufruf eines Sekundärbilds (mit Metadaten).



FAZIT

Der Fundplatz Musawwarat und die dort tätige Mission der Humboldt-Universität profitieren in vielfältiger Weise von den Arbeiten im Rahmen des *African Cultural Heritage and Landscape Database*-Projekts und der Präsentation der Daten über die *Zamani*- und *Aluka*-Web-Interfaces. Die 3D-Modelle und weitere Datensätze bilden einerseits willkommene Werkzeuge für aktuelle und zukünftige Forschungen vor Ort. Andererseits können und sollen sie aber auch als Grundlage für Schadenskartierungen an der Architektur der Großen Anlage dienen, bei der Simulierung von Rekonstruktionsvarianten eingesetzt werden, oder die visuelle Basis für einen umfassenden Site-Management-Plan bilden.

Die Präsenz in *Zamani* und – zu einem späteren Zeitpunkt – *Aluka* leistet zudem einen wichtigen Beitrag zur (virtuellen) Präsentation des Ortes für die Öffentlichkeit. Sie reiht den Fundplatz Musawwarat es Sufra, der vorerst als einziger Fundplatz des Sudan auf dieser Plattform präsent sein wird, nicht nur in die Gruppe global bedeutender und besonders schützenswerter Monumente afrikanischen Kulturerbes ein, sie wird auch seine Wahrnehmung in diesem Kontext nachhaltig erhöhen. Damit wird nicht nur die kulturhistorische Bedeutung von Musawwarat eindrucksvoll unterstrichen; im Zuge des Projekts wird für den Fundplatz, darüber hinaus aber auch insgesamt für die archäologischen Monumente des Sudan, eine neue Dimension der wissenschaftlichen Bestands- und Sicherungsdokumentation von kulturellem Erbe und seiner barrierelosen Präsentation eröffnet.

LITERATUR

- Kleinitz, C. (2008): Neue Arbeiten zu den Sekundärbildern der Großen Anlage von Musawwarat es Sufra. *Der Antike Sudan*. MittSAG 19: 27-38.
- Kleinitz, C., Bauer, T. & C. Näser (2009): Optische 3D-Messungen zur digitalen Bestandsdokumentation von dekorierten Bauelementen und Sekundärbildern der Großen Anlage von Musawwarat es Sufra: ein Pilotprojekt. *Der Antike Sudan*. MittSAG 20: 33-48.
- Wessels, St. (2009): *Zamani Project field diary of Musawwarat es-Sufra, Sudan*. <http://travelersknee.wordpress.com/2009/08/05/zamani-project-field-diary-of-musawwarat-es-sufra-sudan/> (Zugriff: 25.01.2010).
- Zamani-Projektseite: <http://www.zamani-project.org/>

ENGLISH SUMMARY

This paper presents the results of a 3D laser-scanning project undertaken in Musawwarat es Sufra in 2009. As 3D-scanning equipment is becoming increasingly portable, robust and affordable, it is now possible to utilize the potential of 3D-modelling based on various scanning techniques in Nubian archaeology and heritage management. As an initiative within the *African Cultural Heritage and Landscape Database*-Project based at the University of Cape Town, several monuments at Musawwarat es Sufra were documented using 3D laserscanning technology. Apart from the extensive building complex of the Great Enclosure, the re-erected Lion Temple and the Great Hafir were scanned. The resulting 3D-models are now used as research tools as well as serving as the basis for conservation and restoration planning, and for developing visitor access to the site. A related GIS-based study was dedicated to gathering spatial data on the extensive corpus of ancient graffiti at the Great Enclosure. The 3D-models of the Musawwarat monuments as well as related data sets are available to the public via the not-for-profit online platforms *Zamani* (www.zamani-project.org) and *Aluka* (www.aluka.org). Both web-platforms aim to increase international awareness of and access to African heritage by providing material for research about Africa and Africans for Africans as well as the rest of the world.