



CORNELIA KLEINITZ

REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING (RTI) IN DER BESTANDSDOKUMENTATION DER SEKUNDÄRBILDER UND -INSCHRIFTEN VON MUSAWWARAT ES SUFRA IM RAHMEN DES MUSAWWARAT GRAFFITI PROJECT

Das reiche Sekundärbilder- und -inschriftenkorpus der Großen Anlage von Musawwarat es Sufra ist von wenigen Ausnahmen abgesehen bislang unpubliziert geblieben, obgleich es bereits in den 1960er und 1990er Jahren Gegenstand zweier Forschungsprojekte war.¹ Nach vorbereitenden Arbeiten im Jahre 2006 widmet sich das Musawwarat Graffiti Project seit 2007 der systematischen und umfassenden Beschreibung, Untersuchung und Publikation der Sekundärbilder und -inschriften² von Musawwarat, von denen tausende in die meroitische Epoche des Reichs von Kusch datieren (ca. 300 v. Chr.-350 n. Chr.).³

DIE FELDKAMPAGNE 2008:

ENTWICKLUNG DER DOKUMENTATIONSSTRATEGIE

Im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project wurden seit 2008 vier Feldkampagnen durchgeführt. Eine erste Kampagne war der Überprüfung der im Jahre 2007 gesichteten und digitalisierten Archivbestände gewidmet. Diese beinhalten die selektive fotografische und beschreibende Graffitidokumentation von Ursula Hintze aus den 1960er und die umfassendere fotografische Dokumentation von Pawel Wolf aus den 1990er Jahren. Dabei wurden wesentliche Lücken in der fotografischen und insbesondere in der beschreibenden Dokumentation festgestellt. Letztere war überhaupt nur in Ansätzen in den 1960er Jahren für eine geringe Zahl von Graffiti erstellt worden. Ebenso ergab eine Überprüfung von Zeichnungen von Graffiti bzw. Graffitigruppen,



Abb. 1: Block mit anthropomorpher Darstellung aus der meroitischen Epoche, Wand 506/509S (Foto: C. Kleinitz).

die einst auf der Basis von Schwarz-Weiß-Fotografien aus den 1960er Jahren erstellt worden waren, zahlreiche Ungenauigkeiten. Um diese in Zukunft vermeiden zu können, wurden in der Feldkampagne des Jahres 2008 an einer Auswahl der Graffiti grafische Dokumentationsmethoden, wie das Durchzeichnen auf transparente Plastikfolie, getestet. Für die (digital)fotografische Neudokumentation wurde nicht mehr wie bisher das einzelne Graffito oder eine Graffitigruppe als Gegenstand der Aufnahme gewählt, sondern der einzelne Block bzw. Blockgruppen mit ihren jeweiligen Sekundärbildern und -inschriften (Abb. 1). Dies ermöglichte die bessere Verortung der Graffiti sowohl auf den Wandflächen als auch in Relation zueinander. Die Blöcke der Großen Anlage wurden unter verschiedenen Lichtverhältnissen fotografiert, um die bei Lichteinfall aus unterschiedlichen Richtungen mehr oder minder gut sichtbaren Ritzlinien so vollständig wie möglich zu dokumentieren.⁴

1 Hintze 1979; Wolf 1994, 1999a & b.

2 Die Begriffe Sekundärbilder und -inschriften sowie (bildliche und inschriftliche) Graffiti werden hier synonym verwendet.

3 Kleinitz 2008; Kleinitz, Bauer & Näser 2009.

4 Kleinitz 2008.

DIE FELDKAMPAGNE 2009: 3D-STREIFLICHTSCANNEN

Die bereits in der ersten Feldkampagne erkennbaren Grenzen traditioneller grafischer Aufnahmeverfahren, aber auch die zunehmende Zerstörung der antiken Graffiti durch Verwitterung und verstärkten Besucherverkehr, insbesondere durch die damit einhergehenden modernen Ritzungen an den Wänden der Großen Anlage, machten es notwendig, neue und präzisere Verfahren zur Bestandsdokumentation zu testen (Abb. 2). Folglich wurde im Rahmen der zweiten Feldkampagne im Jahre 2009 eine Pilotstudie zum Einsatz des äußerst genauen Streiflichtscanners zur 3D-Dokumentation der Graffiti durchgeführt.⁵ Aufgrund ihrer mathematisch genauen Darstellung der Geometrie der Gesteinsoberfläche eignen sich die von der Firma TrigonArt⁶ errechneten 3D-Modelle einer Auswahl an Wandoberflächen und ihrer Graffiti zur Bestandssicherung, Schadenskartierung und zu Konservierungsplanungen. Für die wissenschaftliche Analyse der Graffiti ist von wesentlichem Vorteil, dass die Richtung des Lichteinfalls bei der Betrachtung der 3D-Modelle in ‚Viewer‘-Programmen beliebig verändert werden kann. Somit können feine bzw. stark erodierte Ritzlinien, die sonst nur bei bestimmten Lichtverhältnissen und nie in ihrer Gesamtheit zu einem Zeitpunkt zu erkennen wären, besser sichtbar (bzw. messbar) gemacht werden. Die Ausgabe der 3D-Modelle in Grauwerttextur und der damit verbundene Verlust der wichtigen Farbinformation der Blockoberflächen waren dem damaligen Stand der Technik geschuldet.⁷ Trotz des großen Erfolgs dieser Studie blieb die Finanzierung eines 3D-Streiflichtscanprojektes zur Aufnahme tausender Sekundärbilder und -inschriften aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten illusorisch.

DIE FELDKAMPAGNEN 2011 UND 2012: REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING (RTI)

Im November und Dezember 2011 konnte im Rahmen einer dritten Feldkampagne ein kostengünstigeres Verfahren zur präzisen Dokumentation der Graffiti erprobt und angewandt werden. Mit finanzieller Unterstützung durch das Kulturerhaltungsprogramm des Auswärtigen Amtes der Bundesrepublik Deutschland und in Kooperation mit der Archaeological Computing Research Group der



Abb. 2: Graffito eines Besuchers namens ‚Saher‘ (oben links), der sich im März 2012 in vier Inschriften auf Wänden im Bereich des Tempels 200 verewigte und dabei antike Graffiti zerstörte (Foto: C. Kleinitz).

University of Southampton wurde in Musawwarat es Sufra die bislang größte Feldstudie zum Einsatz von Reflectance Transformation Imaging (RTI) durchgeführt. RTI ist ein computergestütztes fotografisches Verfahren, das aus Sequenzen von Digitalfotos, ‚digitale Surrogate‘ errechnet, die Objekte bzw. Oberflächen aus verschiedensten Materialien in großem Detail darstellen und unterschiedliche Oberflächenmerkmale (wie z.B. die Textur) durch Anwendung diverser ‚Filter‘ oder Darstellungsarten deutlicher sichtbar machen können. Bereits wenige Monate nach der erfolgreichen RTI-Pilotstudie konnten in einer vierten Feldkampagne im April 2012, die durch das British Institute in Eastern Africa (BIEA) finanziert wurde, weitere RTI-Aufnahmen in Musawwarat gemacht werden.⁸ Insgesamt stehen

⁵ TeilnehmerInnen der Kampagne 2011 waren neben der Autorin Jens Weschenfelder, Dina Serova und Julia Preisigke, alle Humboldt-Universität zu Berlin, Hembo Pagi von der University of Southampton, Zaroog Bakri Mohamed Ahmed von der National Corporation for Antiquities and Museums (NCAM), Mohamed el Tayeb (Khartoum) und Hassan Ibidallah (Shendi). An der Kampagne 2012 nahmen neben der Autorin Franziska Lehmann, Humboldt-Universität zu Berlin, und wiederum Zaroog Bakri Mohamed Ahmed von der National Corporation for Antiquities and Museums (NCAM), Mohamed el Tayeb (Khartoum) und Hassan Ibidallah (Shendi) teil. Alle Beteiligten haben durch ihre sorgfältige und engagierte Arbeit und ihren Teamgeist die Kampagnen zu Erfolgen werden lassen. Ihnen sei daher herzlich gedankt. Ohne die Unterstützung der Leiterin der archäologischen Arbeiten in Musawwarat, Prof. Claudia Näser (Humboldt-Universität zu Berlin), und der Kollegen der National Corporation for Antiquities and Museums (NCAM) wäre die Durchführung der Kampagnen nicht denkbar gewesen: den Director General Abdel Rahman Ali Mohamed, die Leiter der Fieldwork Section El Hassan Ahmed Mohamed und Abd El-Hai Abd El-Sawy, und Fawzi Hassan Bakhiet. Ihnen allen soll hiermit die gebührende Anerkennung ausgesprochen werden.

⁵ Kleinitz, Bauer & Näser 2009.

⁶ <http://www.trigonart.com>.

⁷ Kleinitz, Bauer & Näser 2009.



nun für Forschung und Maßnahmen im Bereich des Kulturerhalts fast 450 RTI-Datensets zur Verfügung, die mehr als tausend Graffiti darstellen.

Reflectance Transformation Imaging (RTI) wurde in den Hewlett Packard Labs entwickelt und im Jahre 2001 von Tom Malzbender, Dan Gelb und Hans Wolters erstmals unter dem Namen Polynomial Texture Maps vorgestellt.⁹ Heute findet RTI als Dokumentationsmethode im Bereich des Kulturerhalts und Denkmalschutzes vielfältig Anwendung.¹⁰ So wird es zur Zustandsdokumentation in der Konservierung genutzt, aber auch zur forschungsbezogenen Dokumentation von archäologischen Objekten und Oberflächen, wie Skulpturen, Münzen, Keramikgefäßen und -scherben, Lithik, Inschriften und Felskunst, und von Materialien, wie Holz, Textilien, Leder, Elfenbein, Metall, Stein und Keramik. Das Verfahren beruht auf der Berechnung verschiedener Eigenschaften einer Oberfläche aus einer Serie von im RAW-Format aufgenommenen Fotografien, deren Anzahl sich im Idealfall pro RTI-Aufnahme auf 48 beläuft. Während Objekt- und Kameraposition während einer RTI-Aufnahmeserie konstant bleiben, wird es das Objekt durch eine Lichtquelle (z.B. einen externen Blitz oder eine LED-Lampe) aus unterschiedlichen Richtungen beleuchtet. RTI-Aufnahmen können bei entsprechenden Kamera- und Blitzeinstellungen und gegebenenfalls unter Nutzung eines Graufilters im Gegensatz zum 3D-Streiflichtscannen bei hellem Tageslicht erstellt werden.

In dem seit 2006 etablierten Highlight RTI-Verfahren wird ein externer Blitz in einem Winkel zwischen 15° und 65° zur Oberfläche des Objekts in unterschiedliche Positionen bewegt und die Kamera jeweils einmal ausgelöst. Zusammen beschreiben die Blitzpositionen einen ‚virtuellen Lichtdom‘ über dem Objekt bzw. der Oberfläche. Im Zenit des ‚Lichtdoms‘ befindet sich die unbewegte Kamera (Abb. 3).¹¹ Die Position der Lichtquelle wird in



Abb. 3: Hembo Pagi beim Durchführen einer RTI-Aufnahmeserie an der Wand 513/517. Die Entfernung des Blitzes von der Wand beim Beschreiben des ‚virtuellen Lichtdoms‘ wird durch Einsatz eines Seils konstant gehalten (Foto: C. Kleinitz).



Abb. 4: RTI-Aufnahme einer rapide erodierenden Bootsdarstellung auf der Wand 506/509S mit Sphäre und Farbskala (Foto: H. Pagi).

jedem Foto durch die Reflexion des Blitzes auf der Oberfläche einer Sphäre, wie z.B. einer im Bildrahmen positionierten schwarzen Billardkugel oder einer Metallkugel, dokumentiert. Die erforderliche Größe der Sphäre variiert je nach der Größe des Objekts, das dokumentiert wird. Neben der Sphäre muss eine Farbskala zum Abgleich der Farbwerte im Bildausschnitt platziert werden (Abb. 4).

Die RTI-Builder Software berechnet für jedes Pixel einerseits die RGB-Farbinformation und andererseits die Form der fotografierten Objektoberfläche.¹² Letztere wird durch Vektoren beschrieben, sogenannte ‚surface normals‘, die wiederum aus dem Winkel des Lichteinfalls, der durch die Reflexion des einfallenden Blitzlichts auf der Sphäre bekannt ist, und dem Winkel der Lichtreflexion von der Objektoberfläche berechnet werden. Im Gegensatz zum 3D-Laser- oder zum 3D-Streiflichtscannen, die die

Weiterhin sei der Kulturabteilung des Auswärtigen Amtes der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Botschaft in Khartoum herzlich für ihre finanzielle wie logistische Unterstützung der Feldarbeiten im Jahr 2011 sowie der British School in Eastern Africa (BIEA) für die Finanzierung der Feldkampagne 2012 gedankt. Kathryn Piquette (University of Oxford & TOPOI) und Graeme Earl (University of Southampton) haben die RTI-Studie in Musawwarat es Sufra zusammen mit der Autorin initiiert, die ursprüngliche Idee zur Anwendung des RTI-Verfahrens zur Aufnahme der Graffiti kam von Christoph Held (damals University of Cape Town).

⁹ Malzbender, Gelb & Wolters 2001; Siehe auch: <http://www.hpl.hp.com/research/ptm/>.

¹⁰ Siehe: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>.

¹¹ Mudge, Malzbender, Schroer & Lum 2006.

¹² Die RTI-Builder Software ist erhältlich unter: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/.

Oberflächengeometrie als Punkte mit x-, y- und z-Koordinaten darstellen, arbeitet RTI als 2D-Aufnahmeverfahren mit einem sogenannten ‚normals field‘ mit pixelgenauer Form- bzw. Richtungs- und Farbinformation zu einer Oberfläche.

Bevor ein Satz Fotografien jedoch in den RTI-Builder geladen wird, müssen in einem Programm zur Fotoverwaltung wie Adobe Lightroom oder Adobe Bridge aus den Digitalfotos alle bei der Aufnahme durch die Kamera automatisch applizierten Wertekorrekturen durch ein ‚Zeroing out‘ entfernt und ein Weißabgleich vorgenommen werden. Weiterhin muss an dieser Stelle gegebenenfalls die Belichtung der Fotos korrigiert werden, indem sehr helle (d.h. bei Blitzpositionen von 65° aufgenommene) oder sehr dunkle (d.h. bei Blitzpositionen von 15° aufgenommene) Fotografien angepasst werden. Alle Änderungen müssen auf alle Fotos eines Sets angewendet werden. Zur Weiterverarbeitung im RTI-Builder erfolgt eine Umwandlung der Fotografien-Serie in das JPEG-Format, die Originaldateien bleiben jedoch im Digital Negative (DNG) Rohdatenformat gespeichert. Damit sind alle Änderungen an den Fotos dokumentiert und reversibel.

Nachdem die so vorbereiteten JPEG-Dateien in den RTI-Builder geladen wurden, ist die Datenverarbeitung unkompliziert. Sie beinhaltet im Wesentlichen die Markierung der Position der Sphäre im Bild, die es der Software erlaubt, die jeweils exakte Position der Lichtquelle zu bestimmen, die auf der Oberfläche der Sphäre gespiegelt ist. Letztlich wird aus der Lichtposition auf der Sphäre eines jeden Fotos ein ‚Highlight Map‘-Komposit, d.h. eine Karte der verschiedenen Blitzpositionen aus allen Fotos eines Satzes, erstellt (Abb. 5). Die Software berechnet nun jeweils aus der Lichteinfall- und Lichtreflexionsrichtung die ‚surface normals‘-Vektoren und damit die Richtung in die die einem jeden Pixel dargestellte Objektfläche orientiert ist. In einem letzten Arbeitsschritt wird der gewünschte Bildausschnitt (z.B. ohne Sphäre und Farbkarte) definiert und je nach verwendetem Algorithmus eine PTM-Datei (*.ptm, Polynomial Texture Mapping Algorithmus) oder eine RTI-Datei (*.rti, Hemispherical Harmonics Algorithmus) errechnet.

Sowohl PTM- als auch RTI-Dateien können in verschiedenen Darstellungsprogrammen („Viewer“) aufgerufen werden. Der RTI-Viewer zum Beispiel, der PTM- und RTI-Dateien liest, bietet eine Reihe an Darstellungsoptionen, Zoomfunktionen und Schärfungswerkzeugen an.¹³ In jedem Falle

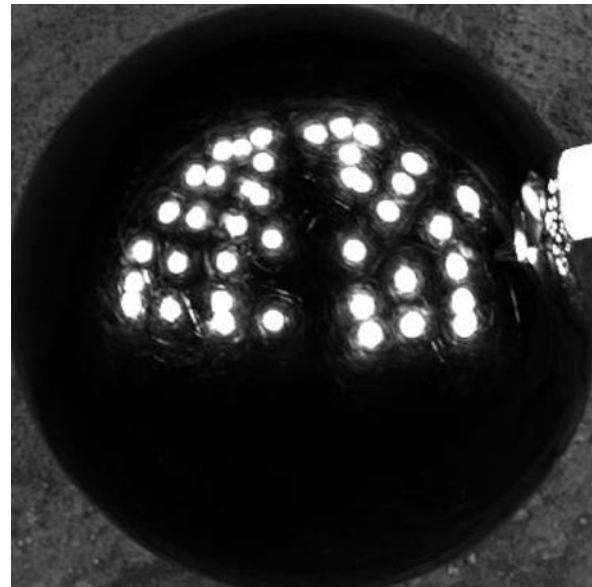


Abb. 5: RTI-Highlight-Map mit partiellem ‚Lichtdom‘, generiert aus der RTI-Aufnahmesequenz der bodennahen Bootsdarstellung in Abb. 4 (Screenshot: C. Kleinitz).

kann die Richtung des Lichteinfalls nach Belieben verändert werden (Abb. 6). Die ‚multiview‘-Funktion erlaubt es sogar, zusätzliche Lichtquellen zur Ausleuchtung der Oberfläche an- und abzuschalten. In der ‚default‘- wie auch in der ‚diffuse gain‘-Funktion sind die Farbwerte der Oberfläche beibehalten. Während erstere Funktion eine Oberfläche ohne weitere Veränderung darstellt, verstärkt die ‚diffuse gain‘-Funktion abrupte Höhenunterschiede in der Oberfläche und lässt somit deren Textur deutlicher hervortreten (Abb. 7). Die ‚specular enhancement‘-Funktion erlaubt es, Farbwerte zu reduzieren, wodurch auch hier die Oberflächentextur deutlicher sichtbar wird.

Wie eingangs erwähnt, kann RTI als Dokumentationsmethode nicht nur äußerst präzise, sondern auch sehr kostengünstig sein. Der RTI-Viewer sowie der RTI-Builder sind als Open Source Software zusammen mit diversen Informationsmaterialien frei über die Webseite der Co-Entwickler des Highlight RTI-Verfahrens, Cultural Heritage Imaging (CHI) erhältlich.¹⁴ Die Dateiformate, in denen die RTI-Daten erstellt und in die sie verarbeitet werden, sind freie Formate, die im Hinblick auf die langfristige Archivierung der Dateien proprietären Formaten zu bevorzugen sind. Bei Bedarf können die Rohdaten der Foto-Serien, die die Grundlage für die Erstellung der PTM- bzw. RTI-Dateien bilden, immer wieder in

¹³ Die RTI-Viewer Software ist erhältlich unter: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/

View/.
¹⁴ http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/.

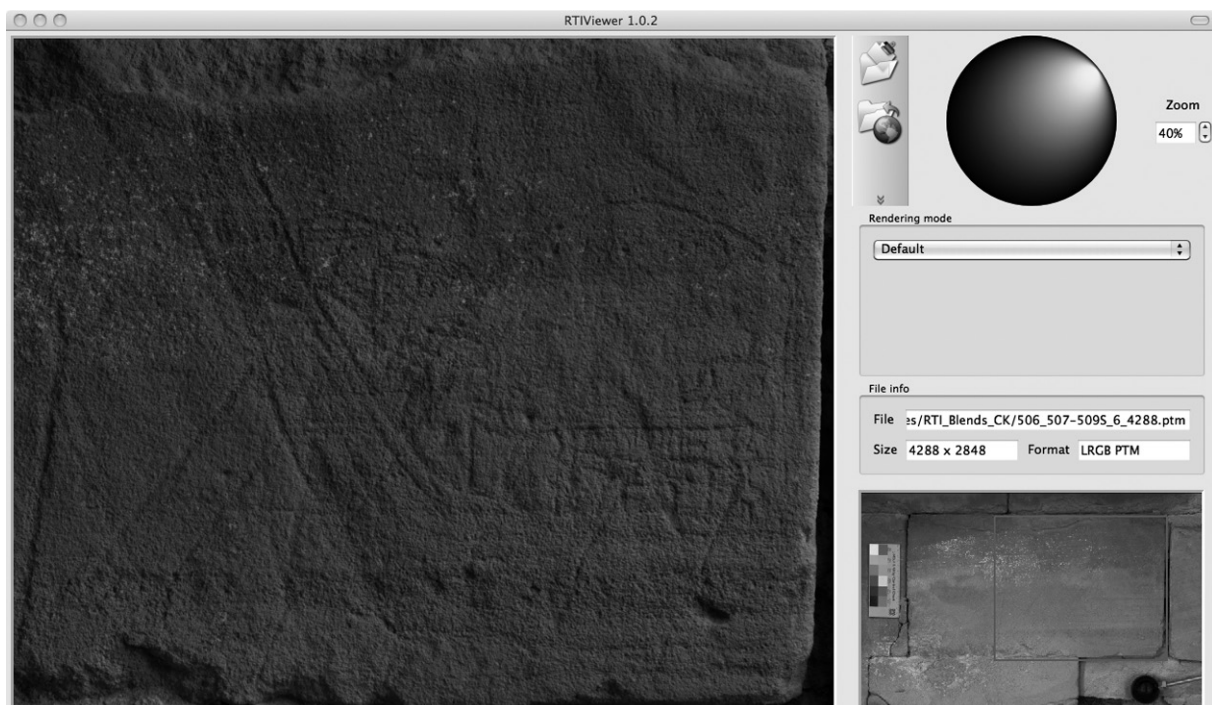


Abb. 6: PTM-Datei der Bootsdarstellung von Wand 506/509S in der ‚default‘-Darstellung im RTI-Viewer, Lichteinfall von oben rechts (Screenshot: C. Kleinitz).

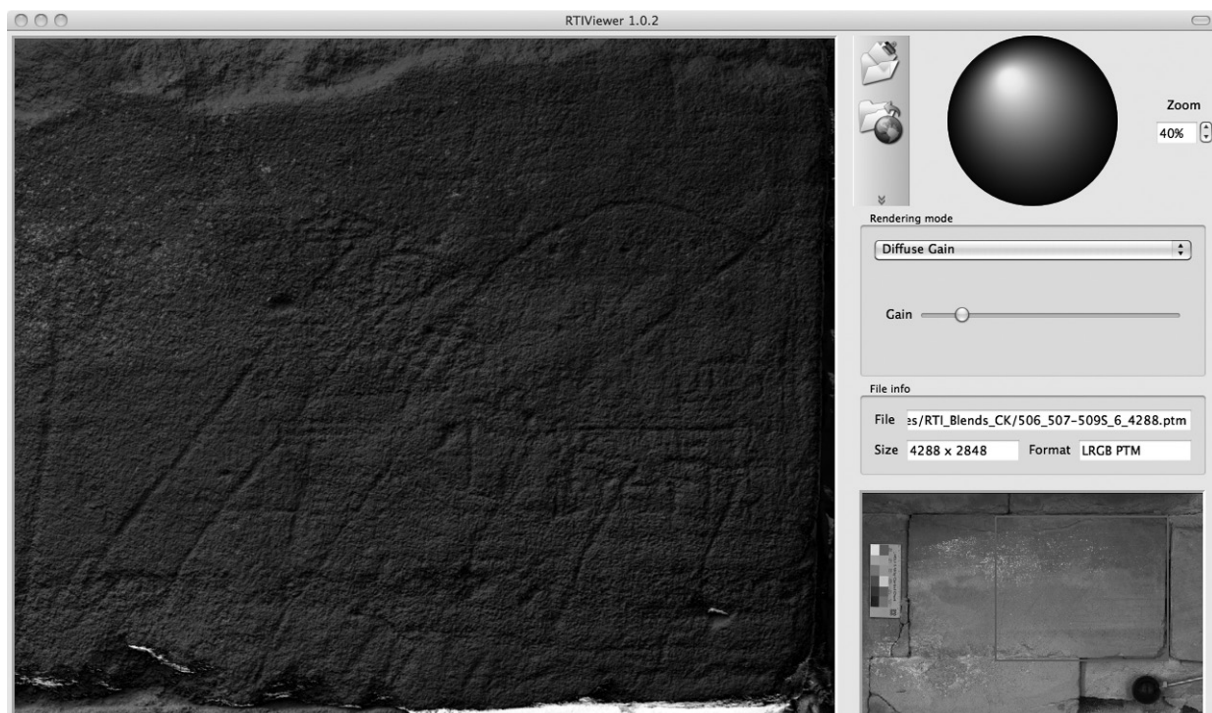


Abb. 7: PTM-Datei der Bootsdarstellung von Wand 506/509S in der ‚diffuse gain‘-Darstellung im RTI-Viewer, Lichteinfall von oben links (Screenshot: C. Kleinitz).

neue Formate verarbeitet werden. Die Qualität der PTM- und RTI-Dateien hängt wesentlich von der Beachtung bestimmter Aufnahme- und Datenverarbeitungsparameter ab, jedoch auch von der Auflösung der Kamera. Während PTM- und RTI-Dateien bereits aus gering aufgelösten Fotografien erstellt

werden können, ist eine hohe Detailgenauigkeit erst bei Benutzung einer höher oder hoch auflösenden Kamera zu erwarten. Von einer möglichst hoch auflösenden Spiegelreflexkamera mit einer verzerrungsarmen Linse und einer externen Lichtquelle sowie einigen anderen fotografischen Ausrüstungsgegen-

ständen abgesehen, können RTI-Aufnahmen ohne Einsatz von speziellem Gerät durchgeführt werden. Die technische Zugangsschwelle ist somit niedrig und der gesamte Arbeitsablauf von der Datenerstellung bis zu ihrer Verarbeitung und Verbreitung kann vollständig in der Hand der Wissenschaftler liegen. Diese können RTI-Aufnahmen einerseits genau ihren jeweiligen Forschungsfragen und -projekten anpassen und sie mit gegebenenfalls bereits vorhandenen Ausrüstungsgegenständen erstellen. Andererseits können sie die Qualität der erstellten Daten bzw. Dateien im Gegensatz zu vielen 3D-Scans und 3D-Modellierungen, die gewöhnlich an Spezialisten ausgelagert werden, selbst evaluieren.¹⁵

Gegenwärtig erfreut sich RTI, das im nordamerikanischen Raum und in Großbritannien bereits vielfach in Forschung und Konservierung eingesetzt wird, rasant steigender Popularität.¹⁶ Davon zeugen die ersten beiden formellen 4-tägigen RTI-Schulungen in Europa, die im Oktober 2012 in Berlin von Mark Mudge, Carla Schroer und Marlin Lum (Cultural Heritage Imaging, CHI) durchgeführt wurden. Von Kathryn Piquette (TOPOI), Josephine Kuckertz (Ägyptisches Museum) und der Autorin co-organisiert und vom Exzellenzcluster TOPOI und den Staatlichen Museen zu Berlin, Stiftung Preußischer Kulturbesitz (Ägyptisches Museum und Papyrussammlung) co-finanziert, erreichten die Schulungen insgesamt 30 MitarbeiterInnen und Affilierte beider Institutionen bzw. Organisationen, darunter RestauratorInnen, ArchäologInnen, FotografInnen und IT-Verantwortliche. Einige (studentische) MitarbeiterInnen des Musawwarat Graffiti Project konnten ebenfalls an den Schulungen teilnehmen, die in Vorträgen und praktischen Übungen sowohl über die korrekte Aufnahme der RTI-Daten als auch ihre Verarbeitung, Evaluierung und Verbreitung umfassend informierten (Abb. 8 und 9). Da RTI in der weiteren Dokumentation der Graffiti von Musawwarat es Sufra eine zentrale Rolle spielen wird, ist die Schulung der ProjektmitarbeiterInnen durch die Co-Entwickler des Verfahrens eine mehr als willkommene Investition in das Musawwarat Graffiti Project.

Für die RTI-Feldarbeiten in Musawwarat im November und Dezember 2011 und im April 2012 stellte die Archaeological Computing Research Group der University of Southampton Know-how in Form ihres Mitarbeiters Hembo Pagi und fotografische Ausrüstung zur Verfügung. Letztere umfasste neben einer zufriedenstellend hoch aufgelösenden

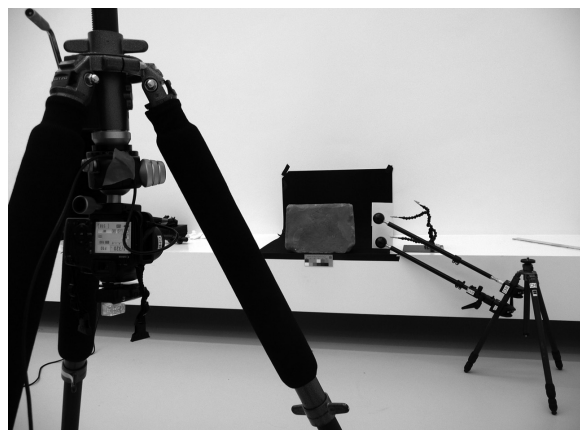


Abb. 8: RTI-Training Berlin: Idealer Aufbau unter ‚Laborbedingungen‘ für die RTI-Aufnahme eines Graffitiblocks aus Musawwarat es Sufra, der sich in der Sudanarchäologischen Sammlung der Humboldt-Universität zu Berlin befindet (Foto: C. Kleinitz).



Abb. 9: RTI-Training Berlin: Aufnahme des Graffitiblocks aus Musawwarat es Sufra (siehe Abb. 8) durch Dina Serova und Juliette Brauer (Foto: C. Kleinitz).

12-Megapixel-Kamera (Nikon D300) mit 50 mm-Objektiv unter anderem einen externen AlienBees Studioblitz und eine leistungsfähige Batterie, die täglich mehrere hundert Blitzauslösungen ermöglichte (Abb. 10). Diese robuste Ausstattung war zuvor von Hembo Pagi zur Dokumentation von Felskunst in Libyen genutzt und dabei ‚feldgetestet‘ worden. In Musawwarat stellte die große Zahl anvisierter RTI-Aufnahmesequenzen unter schwierigen Feldbedingungen jedoch neue Herausforderungen sowohl in Hinblick auf die Energieversorgung als auch die Pflege der Ausrüstung dar, die stark von dem allgegenwärtigen Staub und Sand in Mitleidenschaft gezogen wurde. Trotz erschwelter Bedingungen konnten im Rahmen der bisherigen Feldarbeiten in Musawwarat 448 RTI-Aufnahmesequenzen realisiert werden. Nach einer Einarbeitungsphase konnte die Aufnahmezeit pro Aufnahmesequenz inklusive

15 Mudge, Ashley & Schroer 2007.

16 Schroer 2012.



Abb. 10: Vorbereitungen für eine RTI-Aufnahmesequenz am Tempel 300: Set-up durch Hembo Pagi, Licht bzw. Schattenkontrolle durch Zaroog Bakri und Jens Weschenfelder (Foto: C. Kleinitz).

Auf- und Abbau auf ca. 20 Minuten optimiert werden. Insgesamt wurden mehr als 20000 Fotografien erstellt, die unter Nutzung des Polynomial Texture Mapping Algorithmus in PTM-Dateien verarbeitet wurden. Das generierte Datenvolumen ist mit ca. 600 GB beträchtlich; dabei fallen insbesondere die als DNG-Dateien gespeicherten Rohdaten ins Gewicht. PTM-Dateien variieren in ihrer Größe je nach gewähltem Bildausschnitt und Auflösung. Im Falle der Musawwarat-Dokumentation liegen sie um 100 MB pro PTM-Datei.

Die RTI-Aufnahmen in der Großen Anlage von Musawwarat fokussierten insbesondere auf die Graffiti des Komplexes 300 mit dem Tempel 300, der auch den Fokus der zeitgleich stattfindenden beschreibenden Dokumentation bildete (siehe unten), sowie auf Komplex 500.¹⁷ Nach anfänglichen Tests, die

die Große Anlage insgesamt einschlossen, wurde ein systematisches Vorgehen favorisiert, das im Unterschied zur fotografischen Dokumentation eines jeden Blocks der Großen Anlage jedoch nur solche Blöcke einer Wand dokumentierte, deren Graffiti aus konservatorischer Perspektive als besonders bedroht eingestuft, und/oder aus wissenschaftlicher Perspektive als besonders interessant befunden wurden. Insgesamt wurde trotz dieser Fokussierung auf eine möglichst umfassende Abdeckung des vorhandenen Graffitikorpus geachtet.

Die resultierenden ‚digitalen Surrogate‘ dokumentieren den Ist-Zustand der Blockoberflächen und können nun als Grundlage von Schadenskartierungen und Konservierungsplanungen genutzt werden. Gegenwärtig werden die PTM-Dateien im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project unter Nutzung verschiedener Lichteinfallrichtungen und Oberflächendarstellungsarten im RTI-Viewer bereits als Korrektive für Zeichnungen der Graffiti genutzt (Abb. 11). Die Zeichnungen werden mit Hilfe eines Wacom Cintiq Grafiktablets direkt über den integrierten Bildschirm von Digitalfotos erstellt. Ein standardisierter Arbeitsablauf wurde im Rahmen des Projektes von Jens Weschenfelder und Cornelia Kleinitz entwickelt, in dem für verschiedene Aspekte der Umzeichnungen, wie linienbasierte oder flächenhafte Graffiti, Blockkanten oder Schädigungen der Blockoberflächen, je nach Bedarf Adobe Photoshop als auch Adobe Illustrator als Zeichenprogramme genutzt werden (Abb. 12). Bislang mussten Zeichnungen von Fotos in jedem Fall vor Ort kollationiert werden. Gegenwärtig stellt sich die Frage, in welchem Maße die Verfügbarkeit von PTM-Dateien, die Oberflächenmerkmale sichtbar machen können, die im Foto und vor Ort in Musawwarat nur schwer oder gar nicht zu erkennen sind, den traditionellen Zeichen- und Korrekturprozess verändern wird (Abb. 13 und 14).

Obgleich das RTI-Verfahren sehr erfolgreich in Musawwarat getestet wurde, sollen hier auch einige Einschränkungen seiner Einsatzmöglichkeiten erwähnt werden. Diese sind wesentlich durch Spezifika des Fundplatzes, wie kaum beeinflussbare Umweltbedingungen, architektonische Gegebenheiten bzw. die Anbringungsorte einiger Graffiti, bedingt. Als störender Umweltfaktor versetzte der immer wieder aufkommende böige Wind die Kamera

¹⁷ Das RTI-Team bestand den überwiegenden Teil der Kampagne 2012 aus Hembo Pagi (RTI Set-up, Blitzmaster und Datenverarbeitung), Cornelia Kleinitz (Bestimmung des Bildausschnittes, Distanzmessung und Blitzrichtungskontrolle, Datenverarbeitung), Zaroog Bakri (Licht- und Schattenkontrolle) und Hassan Ibidallah (Set-up-Kon-

trolle und Auslösen der Kamera). Die Vierteilung der Aufgaben hat sich im Fall von Musawwarat bewährt, RTI-Aufnahmen können jedoch bei entsprechend kleiner Objektgröße und einem ‚virtuellen Lichtdom‘ mit geringem Durchmesser auch von nur einer Person durchgeführt werden (siehe Abb. 3).

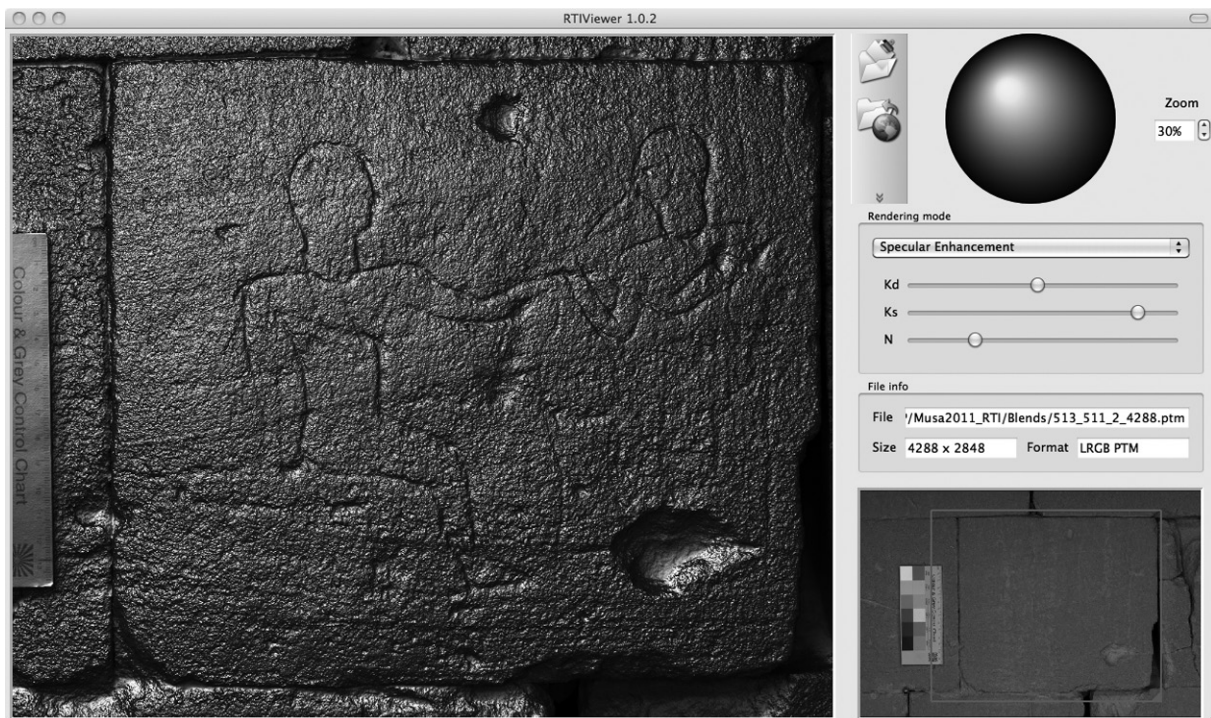


Abb. 11: ‚Specular enhancement‘-Darstellung eines Graffitos von Wand 513/511 im RTI-Viewer. Oberflächendetails wie Ritzlinien sind deutlicher als auf einem Foto zu erkennen (Screenshot: C. Kleinitz).



Abb. 12: Umzeichnung des Graffitos von Wand 513/511 auf einem Blockfoto. Blockkanten, Oberflächenschäden und weitere Graffiti sind ebenfalls verzeichnet. Nicht vor Ort kollationiert, jedoch Nutzung der entsprechenden PTM-Datei als Korrektiv (Zeichnung: Jens Weschenfelder).

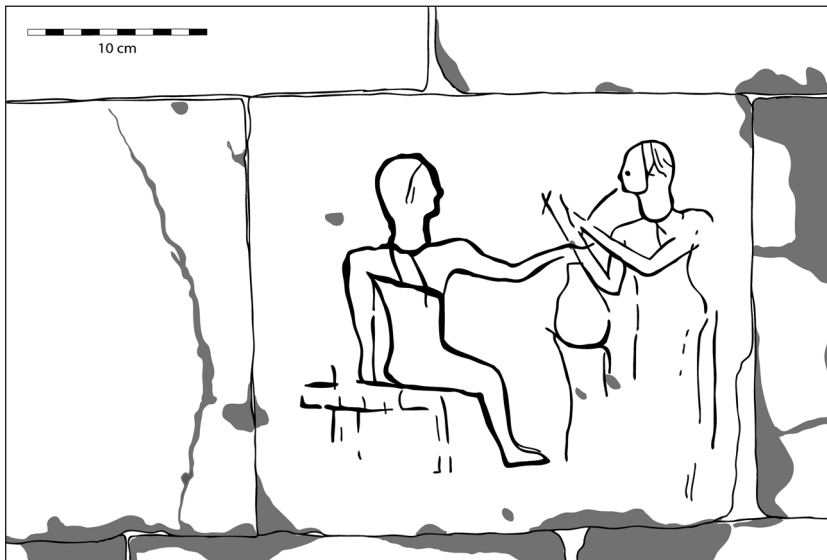


Abb. 13: Zeichnung des Graffitos von Wand 513/511 inklusive Blockkanten und Oberflächenschäden (Zeichnung: Jens Weschenfelder).

hin und wieder trotz der Beschwerung des Stativs und dem Einsatz von verschiedenen Windfängern in leichte Schwingungen. Da in solchen Fällen die Position der Sphäre innerhalb einer Aufnahmesequenz leicht variiert, können die auf ihr reflektierten Lichtpositionen nur ungenau bestimmt werden, die PTM-Datei wird unscharf. In solchen Fällen mussten die Aufnahmen bei Windstille wiederholt werden. Die komplexe Architektur des Fundplatzes erlaubte in manchen Graffitipositionen nur eine eingeschränkte Bewegung des Blitzes, so dass nur ein partieller ‚virtueller Lichtdom‘ über dem entsprechenden Wandabschnitt beschrieben werden konnte. Dies betraf insbesondere Graffiti, die sich nahe dem heutigen Bodenniveau befinden, denn hier konnte nur die über dem Boden befindliche obere Hälfte des ‚vir-

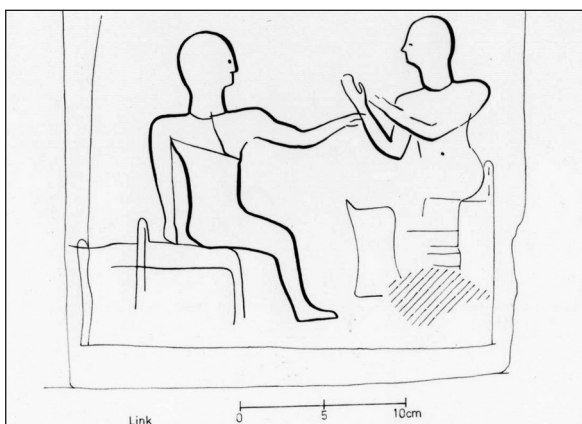


Abb. 14: Zeichnung des Graffitos von Wand 513/511 auf der Basis eines Schwarz-Weiß-Fotos aus der Dokumentation der 1960er Jahre. Im Vergleich zur Zeichnung desselben Graffitos unter Zuhilfenahme der PTM-Datei (siehe Abb. 13) sind einige Differenzen festzustellen (Zeichnung: C. Link).

tuellen Lichtdoms‘ beschrieben werden (siehe Abb. 4-7). Noch stärker beschnitten ist der ‚virtuelle Lichtdom‘, wenn sich Graffiti in Ecklagen befinden. Hier musste zuweilen auf drei Viertel der erforderlichen Lichtpositionen verzichtet werden. Bei der Aufnahme von Graffiti an den Wänden enger Rampen konnte ebenfalls oftmals nur ein Teil des ‚Lichtdoms‘ abgedeckt werden (Abb. 15). Trotz dieser Einschränkungen konnten in allen Fällen ‚surface normals‘ berechnet und somit aus den entsprechenden Datensätzen PTM-Dateien erstellt werden. Diese resultieren jedoch aus weniger dichten Datensätzen,

was bei der Interpretation bestimmter Oberflächenmerkmale in Betracht gezogen werden sollte.

Eine weitere Herausforderung stellten sehr hoch an den Wänden befindliche Graffiti dar. Hier war die fixe Kamerapositionierung bei komplett ausgefahrenem Stativ bzw. dessen schwingungsfreie Positionierung auf einem Gerüst nur bedingt zu gewährleisten. Auch die Beschreibung eines ‚virtuellen Lichtdoms‘ stellte in solchen Fällen in seinem oberen Drittel eine Herausforderung dar, da die höchsten Positionen des Blitzes trotz Einsatz von Teleskopstange und Leitern oft nur schwer zu erreichen waren. Je größer ein Graffito bzw. der gewählte Wandausschnitt ist, desto größer muss auch die Distanz des Blitzes zur Wand sein. Sie muss in jedem Fall der doppelten bis vierfachen Größe des



Abb. 15: Unebener Grund und die Beengung durch die Rampe erschweren den Geräteaufbau und die Bewegung des Blitzes bei der Aufnahme von Graffiti auf Wand 520/526. Im Bild: Zaroog Bakri und Hassan Ibidallah (Foto: C. Kleinitz).

entsprechenden Wandausschnittes (bzw. ‚Objektes‘) entsprechen. Ein Graffito von 1 m Höhe bzw. Breite erfordert somit eine Distanz der Blitzpositionen von der Wand von mindestens 2 m, besser noch 3 oder 4 m. Während sich einzelne Blöcke mit ihren Graffiti somit relativ ‚bequem‘ mit dem RTI-Verfahren dokumentieren lassen (siehe Abb. 3), ist die Aufnahme größerer Graffiti und Blockgruppen mit einigem Aufwand und bei Benutzung derselben Kamera mit einem Auflösungsverlust verbunden. Ebenso muss die Blitzleistung und damit der Energieverbrauch für solche Aufnahmen vergrößert werden, und oft können die Blitzpositionen der oberen und unteren Drittel eines sehr großen ‚virtuellen Lichtdoms‘ nicht beschrieben werden. PTMs können jedoch ohne weiteres auch auf der Basis solcher Datensätze erstellt werden. Die Blockeinheit als basale Aufnahmegröße hat sich somit nicht nur im Rahmen der allgemeinen digitalfotografischen Dokumentation, sondern auch in der RTI-Dokumentation bewährt. Der zeitliche Aufwand für eine RTI-Aufnahmesequenz steht bei blockbasierten (oder ähnlich großen) Aufnahmen in einem sehr guten Verhältnis zur Qualität des Ergebnisses. In Anbetracht der Menge der in Musawwarat zu dokumentierenden Graffiti muss ein ausgewogenes ‚Kosten-Nutzen-Verhältnis‘ unbedingt bedacht werden.

Zur Aufnahme größerer Graffiti könnte der Einsatz des 3D-Streiflichtscannens in Betracht gezogen werden, das im Jahre 2009 mit Messfenstern von bis 2,5 x 2,5 m arbeiten konnte.¹⁸ Insgesamt lässt sich jedoch im Kulturerbebereich ein Trend weg vom eigentlichen 3D-Scannen und -Modellieren, hin zu verschiedenen computergestützten fotografischen Verfahren (‚computational photography‘), wie der Photogrammetrie, feststellen. Erste photogrammetrische Aufnahmen im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project wurden in Musawwarat in den Feldkampagnen 2011 und 2012 erstellt und unter Nutzung der PhotoScan Pro Software von Agisoft zu 3D-Modellen verarbeitet. Die Ergebnisse dieser ersten Tests lassen die Voraussage zu, dass Photogrammetrie – obgleich sie in der Darstellung von feinen Oberflächendetails hinter dem RTI-Verfahren zurücksteht – ebenfalls eine bedeutende Rolle bei der Bestandsdokumentation der Graffiti von Musawwarat spielen wird.

DIE FELDKAMPAGNEN 2011 UND 2012: BESCHREIBENDE ARBEITEN ZU DEN GRAFFITI VON MUSAWWARAT

Neben der grafischen Aufnahme der Graffiti von Musawwarat ist die blockbezogene Beschreibung jeder einzelnen Graffitiereinheit eine wesentliche Komponente der Feldarbeiten. Während aus den 1960er und 1990er Jahren umfangreiche Sammlungen an Fotografien der Graffiti vorliegen, sind Beschreibungen nur für eine kleine Auswahl von Sekundärbildern und -inschriften durch Ursula Hitze erstellt worden. Auf Karteikarten notiert, benennen sie neben einer Graffitonummer und dem Bearbeitungsstand jedoch lediglich die jeweiligen Motive und die Wand, auf der sich das Graffito befindet. Im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project werden seit 2008 erstmals umfangreiche graffitibezogene Daten, wie Formbeschreibungen und Motivbenennungen, Charakteristika der Linien (wie Breite, Tiefe, Form und Färbung), Überlagerungssequenzen und Beobachtungen zu späteren Modifikationen existierender Graffiti aufgenommen. Der im Rahmen des Projekts im Jahr 2008 entworfene und seitdem stetig präzierte Motivthesaurus dient als Grundlage der systematischen Definition einzelner Motive und ihrer Ordnung in Motivklassen und Motivkategorien. Neben graffitibezogenen Daten werden auch eine Reihe blockbezogener Daten aufgenommen. Diese umfassen Merkmale der Blockoberfläche wie ihre Struktur, Färbung, eventuell vorhandene Verwitterungserscheinungen und Bearbeitungsspuren sowie Vermerke zur Präsenz von Steinmetzzeichen und nicht mehr als Graffitiereinheiten definierbaren Graffitiresten (Abb. 16).¹⁹

Die beschreibende Dokumentation fokussierte in den Feldkampagnen der Jahre 2011 und 2012 auf den Komplex 300 im östlichen Teil der Großen Anlage, dessen Graffiti Block für Block und Wand für Wand beschrieben wurden. Komplex 300 bot sich als Fallstudie für die systematische detaillierte Dokumentation an, da er von überschaubarer Größe ist, aber insbesondere der Tempel 300 eine große Dichte einander überlagernder, offenbar unterschiedlich datierender und somit chronologisch aussagekräftiger Graffiti aufweist. Nachdem die beschreibende Dokumentation der Sekundärbilder und -inschriften im Bereich des Komplexes 300 in der vierten Feldkampagne im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project abgeschlossen werden konnte, ist die Auswertung der Daten gegenwärtig im Gang. Wie bereits zu Beginn des Musawwarat Graffiti Projects vermu-

18 Kleinitz, Bauer & Näser 2009.

19 Kleinitz 2008.



tet, ist anhand der ersten Detailstudien abzusehen, dass die absolute Zahl an Graffitiereinheiten wesentlich höher ist, als bislang angenommen.²⁰ Während Ursula Hintze die Gesamtzahl der Graffiti in der Großen Anlage noch auf ca. 700 schätzte, korrigierte Pawel Wolf deren Zahl später auf ca. 2500.²¹ Im Rahmen der neuen Studien konnten nun allein für den Tempel 300 mehr als 4000 Graffitiereinheiten definiert werden. Im Vergleich dazu haben Ursula Hintze für denselben Bereich 36 und Pawel Wolf 562 Sekundärbilder und -inschriften dokumentiert. Für die Große Anlage insgesamt muss aufgrund der gegenwärtigen Studie eine Gesamtzahl von mehreren 10000 Graffiti angenommen werden.

Die signifikant höhere Anzahl an identifizierten Graffiti resultiert einerseits aus der auf Vollständigkeit orientierenden Dokumentationsstrategie des Musawwarat Graffiti Project, andererseits aus der Einbeziehung aller als Graffitiereinheiten definierbaren anthropogenen Spuren auf den Blockoberflächen. Dies schließt neben deutlich erkennbaren ‚Bildern‘ auch Graffiti ein, die bislang in der Forschung kaum Beachtung fanden: unter anderem betrifft dies Linien und andere ‚geometrische‘ Motive sowie die Gruppe der ‚Markings‘,²² die unter anderem ‚Rillen‘, ‚Schälchen‘ oder ‚polierte Zonen‘ umfasst (Abb. 17). Diese den heutigen Betrachter visuell wenig ansprechenden Motive stellen jedoch einen wichtigen Teil des Graffiti-korpus dar. Sie geben Auskunft über verschiedene in den Graffiti von Musawwarat es Sufra manifestierte Markierungspraktiken, unter denen das Herstellen von eigentlichen ‚Bildern‘ nur eine von vielen war. Die Definition von ‚Graffiti‘, die im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project gewählt wurde, ist somit eine umfassende. Sie stellt den etablierten Kategorien inschriftlicher und – im weitesten Sinne – bildlicher Graffiti die Kategorie der ‚Markings‘ zur Seite, bei denen möglicherweise eine auf die Wand gerichtete Handlung von Bedeutung gewesen sein mag und nicht primär ihr als Graffito sichtbares Resultat. Die systematische Kartierung der Graffiti auf den Wänden der Großen Anlage im Rahmen des Projekts wird es in Zukunft erlauben, solche Phänomene besser zu verorten und die Nutzung verschieden definierter Räume in synchronen und diachronen Perspektiven zu untersuchen.

²⁰ Kleinitz 2008.

²¹ Hintze 1979: 137; Wolf 1999b: 48.

²² Der Begriff ‚Markings‘ wird zunehmend in der Felskunsthochschule für eine große Gruppe von nicht-bildlichen Motiven verwendet, die kreisförmige oder länglich-ovale Abrasionsspuren, ‚polierte Zonen‘, ‚Kratzer‘ und ähnliche mit subtraktiven aber auch additiven Techniken hergestellte Phänomene umfassen.



Abb. 16: Detaillierte beschreibende Aufnahme eines jeden Blocks und seiner Graffiti am Tempel 300. Im Bild: Jens Weschenfelder und Dina Serova (Foto: C. Kleinitz).

Die verbalen Beschreibungen sind zusammen mit allen bildlichen Daten in einer speziell für das Projekt von Elisabeth Lindinger (Hochschule für Technik und Wirtschaft, HTW, Berlin) entwickelten Filemaker-Datenbank geordnet. In einer ‚Blocktabelle‘ sind zum Beispiel im Falle des Tempels 300 alle 1760 sichtbaren Blöcke des Bauwerks beschrieben. Eine ‚Graffititabelle‘ enthält Daten zu den mehr als 4000 Graffitiereinheiten auf den Blöcken des Tempels 300, darunter über 1000 ‚Markings‘ und 46 Inschriften. Insgesamt 4500 Digitalfotos und gegenwärtig fast 2000 Umzeichnungen sind diesen Tabellen zugeordnet. Diese Datenbank ist jedoch nicht nur zur Nutzung für Forschungs- und Publikationsarbeiten innerhalb des Musawwarat Graffiti Projects konzipiert. Sie dient ebenso als Grundlage für die Online-Präsentation und Publikation des Graffiti-korpus von Musawwarat es Sufra im Rahmen des Musawwarat Graffiti Archive.

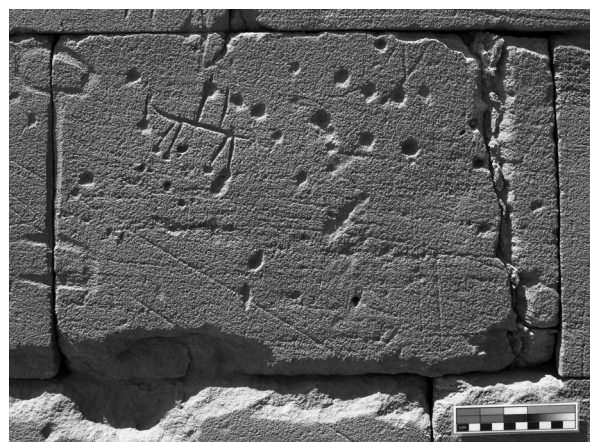


Abb. 17: Sogenannte ‚Markings‘ auf der Wand 301N/304, in diesem Falle einzelne und in Reihen angeordnete ‚Schälchen‘ oder ‚cup marks‘, die auch die ‚Füße‘ eines möglichen Vierbeiners (oben links) markieren (Foto: C. Kleinitz).

DIE ONLINE-PRÄSENTATION DER SEKUNDÄRBILDER UND -INSCRIFTEN: DAS MUSAWWARAT GRAFFITI ARCHIVE²³

Seit Beginn des Jahres 2011 wird im Rahmen einer Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte das Musawwarat Graffiti Archive entwickelt, dessen erste Version bereits seit einigen Monaten online verfügbar ist (Abb. 18).²⁴ In seiner ersten Phase von der Golden Web Foundation (GWF) finanziert, hat diese interaktive Open Access Online-Forschungsplattform zum Ziel, die gesamte Dokumentation zu den Graffiti von Musawwarat frei im Internet verfügbar und somit weltweit nutzbar zu machen. Neben zehntausenden Digitalfotografien, Zeichnungen und beschreibenden Daten, die im Rahmen des Musawwarat Graffiti Project erstellt wurden, schließt dies auch alle verfügbaren Archivmaterialien ein, wie Ursula Hintzes fotografische und beschreibende Dokumentation der Graffiti aus den 1960er Jahren. Weitere Medien, wie RTI- und PTM- Dateien und 3D-Modelle sowie GIS-Anwendungen sollen in Zukunft ebenfalls über das Archive zugänglich gemacht werden. Alle Daten werden unter Creative Commons Lizenzen nutzbar sein.

Im Herzen des Musawwarat Graffiti Archive ermöglicht eine auf dem Zope Application Server basierende Arbeitsumgebung den Zugriff auf umfangreiche Sammlungen von Bilddateien zusammen mit zugehörigen beschreibenden und anderen Daten, die aus der Forschungsdatenbank des Projekts generiert werden. Ein leicht zugängliches Web-Interface bietet 'Explore' und 'Browse'-Funktionen an, mit denen durch das verfügbare Material navigiert werden kann. Die 'Explore'-Funktion lässt die Nutzer über mit Hot-Spots markierte Pläne und Fotos bis auf das Blockniveau 'hineinzoomen'

²³ <http://musawwaratgraffiti.mpiwg-berlin.mpg.de>.

²⁴ Das Musawwarat Graffiti Archive ist eine Koproduktion im Sinne des Wortes: Die Idee wurde von Cornelia Kleinitz und Robert Casties (MPIWG) entwickelt, die Umsetzung von Simone Rieger (MPIWG) koordiniert und von Cornelia Kleinitz geleitet, die Oberfläche des Webarchivs von Amy Stafford (Studio Blixa 6) mit Input von Cornelia Kleinitz, Stefan Schreiber (Humboldt-Universität zu Berlin) und Robert Casties entworfen und von Amy Stafford zusammen mit letzterem realisiert. Die Web-Datenbank wurde von Robert Casties auf der Basis der Arbeiten von Elisabeth Lindinger (HTW) erstellt. Daten wurden von Jens Weschenfelder und Cornelia Kleinitz eingegeben und miteinander verknüpft, Texte von letzterer sowie von Robert Casties und Elisabeth Lindinger verfasst. Prof. Jürgen Renn (MPIWG) und Prof. Claudia Näser (Humboldt-Universität zu Berlin) haben die Schirmherrschaft über das Archiv übernommen. Allen Beteiligten sein herzlich gedankt.



Abb. 18: Eingangsseite des Musawwarat Graffiti Archive: <http://musawwaratgraffiti.mpiwg-berlin.mpg.de> (Screenshot: C. Kleinitz).

und dort verfügbare Materialien und Daten zu den jeweiligen Blöcken und Graffiti abrufen (Abb. 19). Die Entwicklung der 'Explore'-Funktion war dem Anliegen geschuldet, die Graffiti in ihrer exakten Position an den Wänden und auf den Blöcken verortet zu präsentieren. Die Browse-Funktion bietet über Suchbegriffe, wie 'Motiv', 'Epoche' und/oder



Abb. 19: 'Explore'-Funktion in der 'Graffiti in Place Database'-Sektion des Musawwarat Graffiti Archive. Durch Klicken an markierte Wände bzw. Wandabschnitte auf Plänen und Fotos können Nutzer bis auf die Blockebene 'einzoomen' und dort auf die grafische und beschreibende Dokumentation zu den jeweiligen Blöcken und ihren Graffiti zugreifen (Screenshot: C. Kleinitz).



Abb. 20: Umzeichnung eines Graffitos der Wand 304/301E auf einem Foto, aufgerufen im Picture-Viewer des Musawwarat Graffiti Archive, der das Zoomen, Drehen und Markieren der Bilder ermöglicht und auf der Digilib-Technologie beruht (Screenshot: C. Kleinitz).

‘Location’, die nach anfänglicher Auswahl weiter spezifiziert werden können, einen gewohnteren Zugang zum Graffitimaterial. Bilddateien können im Digilib Image Viewer auch bei Nutzung langsamer Internetverbindungen in hoher Auflösung betrachtet werden. Neben Zoom- und anderen Funktionen ermöglicht Digilib auch, die Dateien für Publikationen mit referenzierbaren Annotationen zu versehen (Abb. 20).

Das Musawwarat Graffiti Archive ist in seiner jetzigen Form das Ergebnis einer ersten Arbeitsphase. Es wird in einem andauernden Prozess aktualisiert und soll in den nächsten Jahren sowohl in seiner Breite durch mehr Material als auch in seiner Tiefe durch neue Medienarten erweitert werden. Gegenwärtig sind Materialien zum Komplex 300 verfügbar, die im Laufe des Jahres 2013 vervollständigt und somit parallel zu den Arbeiten an einer ersten Monografie zu den Graffiti von Musawwarat online verfügbar gemacht werden. In den folgenden Jahren sollen die Graffiti nach und nach, d.h. Komplex für Komplex, sowohl in monografischer Form als auch komplementär über das Musawwarat Graffiti Archive publiziert werden. Letzteres erlaubt die Bereitstellung aller Forschungsdaten, deren Publikation in ihrer Gesamtheit in traditionellem Papierformat weder möglich noch finanzierbar wäre.

LITERATUR

- Hintze, U. (1979): The Graffiti from the Great Enclosure at Musawwarat es Sufra, In: Hintze, F. (Hrsg.): *Africa in Antiquity. The Arts of Ancient Nubia and the Sudan. Meroitica 5*. Berlin: 135-150.
- 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.
- Malzbender, T., Gelb, D. & H. Wolters (2001): Polynomial Texture Maps, In: *SIGGRAPH '01. The 28th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Los Angeles, CA, USA — August 12 - 17, 2001. ACM. New York: 519-528.
- Mudge, M., Ashley, M. & C. Schroer (2007): A Digital Future for Cultural Heritage, In: *XXI International CIPA Symposium*, Athens, Greece, 01-06 October 2007, Proceedings (<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/ATHENS/FP104.pdf>).
- Mudge, M., Malzbender, T., Schroer, C. & M. Lum (2006): New Reflection Transformation Imaging Methods for Rock Art and Multiple-Viewpoint Display, In: M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania (Hrsg.), *VAST 2006. The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*. Nicosia, Cyprus, 2006. Eurographics Association: 195-202.
- Schroer, C. (2012): Advanced Imaging Tools for Museum and Library Conservation and Research, *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology 38*, 3: 38-42.
- Wolf, P. (1994): „Felsbildkunst“ an den Tempeln von Musawwarat es Sufra, *Actes de l'assemblée annuelle de l'association des amis de l'art rupestre saharien*, (Ingolstadt 21-23 Mai 1993): 37-41.
- Wolf, P. (1999a): Arbeitsbericht über die Dokumentation der Sekundärbilder und Sekundärschriften von Musawwarat es Sufra, *Der Antike Sudan. MittSAG 9*: 44-51.
- Wolf, P. (1999b): Götter und Graffiti – Zur Interpretation der Großen Anlage von Musawwarat es-Sufra, *Nürnberger Blätter zur Archäologie. Sonderheft Sudan: Festschrift Steffen Wenig*. Nürnberg: 47-52.



SUMMARY

Since 2007 the Musawwarat Graffiti Project has been committed to the documentation, study and publication of the extensive corpus of incised pictorial and other graffiti at the Great Enclosure of Musawwarat es Sufra. To a great part the graffiti date to the Meroitic period of the Kingdom of Kush (c. 300 BC-AD 350). Several past attempts at documenting the hitherto unpublished graffiti corpus had been hampered by limitations inherent in traditional photographic and other graphic recording techniques. In 2009 3D-Structured-Light-Scanning was tested on some graffiti with good results, but its high cost and the loss of important colour information limited its application. In the 2011 and 2012 field seasons low-cost Reflectance Transformation Imaging (RTI), a new 'computational photography' documentation method was successfully tested on a large sample of graffiti. RTI captures surface details in different lighting conditions: Multiple images are taken from a fixed camera position while a light source illuminates the object from different angles and directions. RTI techniques have been used for recording objects and surfaces of various materials in museums, lab and field contexts. Little equipment is required, among them a digital camera with a high resolution lens, filters, a scale, movable flash and power source, as well as sphere(s) capturing the lighting direction in each exposure. The open source RTI-Builder software creates a composite image out of dozens of exposures. The processed RTI and PTM files can be viewed using open source viewer-software, which offers various visualisation tools allowing the user to examine surface properties in great detail under different lighting conditions and in a number of rendering modes. The Musawwarat RTI results are extremely encouraging although the outdoor field conditions posed various challenges, such as the restriction of the ideal hemispherical movement of the light source (i.e. the flash) due to architectural obstacles, or camera movement due to

strong gusts of wind. Nevertheless, more than 1000 graffiti were captured during the past field seasons in nearly 450 RTI set-ups, supporting the detailed study of the graffiti corpus and contributing to its virtual preservation. It is planned to make the processed RTI files as well as all other documentation regarding the Musawwarat graffiti available for study via an interactive open access research platform. The Musawwarat Graffiti Archive, which is already available online in an early version (<http://musawwarat-graffiti.mpiwg-berlin.mpg.de>), makes complex sets of visual and related data on thousands of ancient and more recent graffiti accessible. The heart of the Musawwarat Graffiti Archive is a work-bench environment allowing the online publication of large image collections together with related extensive and varied data sets via an easily accessible web interface. All data is systematically linked to an extensive image collection - from overview photos and ground plans down to tracings and detail photos at the level of single building blocks and graffiti. All photos are presented using the Digilib image viewer, allowing the user to zoom in and inspect images at the highest resolution even on low-bandwidth connections. The images can also be annotated and referenced for use in online publications. The web presentation of the archive, which targets scholars as well as the general public, dissolves the border between systematic access to the graffiti via database searches via a 'browse' function and the visual exploration of the Great Enclosure via hot-spots on overview images in an 'explore' function. In its first version the Musawwarat Graffiti Archive presents data on Complex 300 in the eastern part of the Great Enclosure. It is meant to be continually updated, and it will be extended both in breadth with more material and in depth with the integration of new types of media like RTI images, 3D models and GIS integration. The Musawwarat Graffiti Archive can be understood as an online publication of archaeological data that would be impossible to affordably publish in traditional paper format.