

Leben und Tod auf der Nilinsel Sai – GIS-gestützte Untersuchungen zu einer pharaonischen Tempelstadt in Obernubien

Martin Fera¹, Julia Budka¹

¹Institut für Ägyptologie und Koptologie, LMU München · martin.fera@lmu.de

Zusammenfassung: Dieser Beitrag stellt ein GIS-basiertes System vor, das im Rahmen eines Projektes zur Siedlungsarchäologie im Sudan entwickelt wurde. Die dreidimensionale Aufnahme von Untersuchungen in einer pharaonischen Stadt und Nekropole sowie ihrem Umfeld erforderte ein robustes und an verschiedene Umwelt- und Befundsituationen anpassbares Dokumentations- und Analysewerkzeug. Neben einem Zugewinn an geometrischer Genauigkeit und Zeitersparnis, konnte durch das System auch ein Mehrwert für die Forscher_innen zur Beschreibung und Interpretation der Befunde im täglichen Einsatz erreicht werden.

Schlüsselwörter: GIS, 3D-Modellierung, Structure from Motion, Kite Aerial Photography, Grabungsdokumentation, Sudan

1 Einleitung

In den letzten Jahren kann die archäologische Feldforschung auf eine rasante Entwicklung und Einbindung neuer Verfahren und Methoden zur Untersuchung und Dokumentation ihrer Quellen im Feld verweisen. Bei der Untersuchung von Fundstellen und deren Umfeld konnten Verfahren des 3D-Laserscannings und der bildbasierten Modellierung ihren Wert für die dreidimensionale Aufnahme von konservierten archäologischen Spuren in der Landschaft, stehenden Strukturen aber auch vollständigen Grabungsbefunden beweisen. Insbesondere Verfahren auf Basis von Structure from Motion (SfM) finden vermehrt Anwendung (DONEUS 2011, DE REU 2014).

Zur Verwaltung der erfassten räumlichen Daten während der Feldarbeit bieten sich naturgemäß Geoinformationssysteme (GIS) (NEUBAUER 2004) an und finden daher immer weitere Verbreitung (SMITH 2014). Neben der Erfassung und Visualisierung der Daten sind auch Analysen möglich, insbesondere durch die Integration verschiedener weiterer Informationsebenen, wie etwa Projektionsergebnissen.

Im Rahmen der Feldforschung des ERC-Projekts ArcrossBorders wurde bei der Feldarbeit auf der Nilinsel Sai, Sudan, ein Dokumentationsystem entwickelt und eingesetzt, das auf der Vermessung mit Totalstation und 3D-Erfassung mittels SfM aufbaut. Dabei wurden sowohl die stratigrafische Siedlungs- und Friedhofsgrabung, als auch das Umfeld dreidimensional aufgenommen.

Neben den dokumentationstechnischen Anforderungen mussten dabei aber auch die extremen klimatischen Bedingungen sowie logistische Umstände, wie die unregelmäßige Verfügbarkeit von elektrischem Strom, berücksichtigt werden, um ein robustes und flexibel auf die Bedürfnisse des Grabungsalltags angepasstes System zur Verfügung zu haben.

2 Forschungsprojekt

Gegenstand des Projekts AcrossBorders sind Siedlungsstrukturen in Ägypten und Nubien (heutiger Nordsudan) im 2. Jahrtausend v. Chr. Die Architektur und Struktur ägyptischer Siedlungen, die in Nubien während des Neuen Reichs (ca. 1539-1077 v. Chr.) neu gegründet wurden, sind ebenso unzureichend erforscht wie die soziale Stratifizierung und materielle Kultur der Fundplätze. Die Insel Sai im Nordsudan ist als repräsentatives Beispiel für ägyptische Siedlungspolitik der Fokus der Untersuchung (BUDKA 2015).

Sai liegt gegenüber der heutigen Stadt Abri an einem prominenten Knick des Nils, zwischen dem 2. und dem 3. Katarakt. Die Gründung einer ägyptischen Siedlung (Grabungsplatz SAV1) an der Nordostseite der Insel ist in Zusammenhang mit militärischen Unternehmungen der Könige des frühen Neuen Reiches nach Süden, ins Kerngebiet des sudanesischen Königreichs von Kerma, zu verstehen. Folgerichtig liegt die von einer Stadtmauer eingefasste Siedlung an einer zur Überwachung des Flussverkehrs strategisch günstigen Position oberhalb einer Sandsteinklippe. Diese Stadt bildet mit einem großen, ca. 800 m südlich gelegenen Pyramidenfeld mit Gräbern ägyptischen Typs (Grabungsplatz SAC5) eine Einheit.

Die Landschaft der Insel Sai wird, bis auf einen Inselberg aus nubischem Sandstein, gänzlich von flachen Terrassen geprägt, die größtenteils von Nilsedimenten bedeckt sind. Pharaonische Steinbruchtätigkeit in den Sandsteinformationen lässt sich v. a. entlang der Ostküste feststellen. Nachpharaonische Siedlungstätigkeiten, insbesondere die Errichtung einer osmanischen Burg, prägten die heutige Oberfläche und beeinflussten die Erhaltung von Befunden.

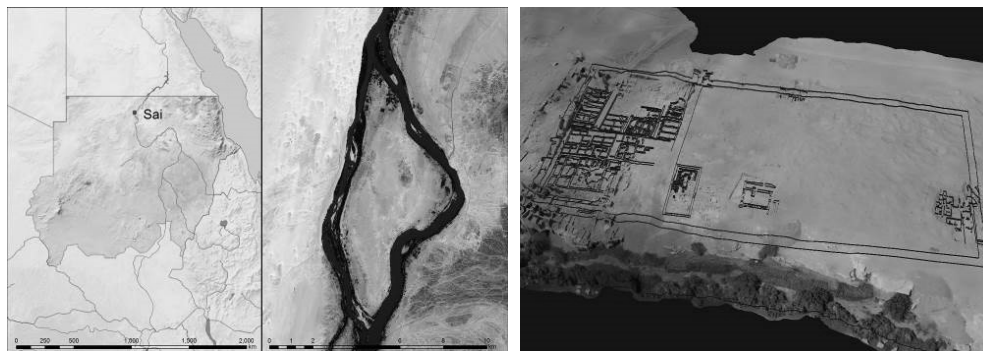


Abb. 1: Lage von Sai; Insel Sai; SAV1 mit bisher ergrabenen Strukturen in 3D-Ansicht

3 3D-Felddokumentationssystem

3.1 Ziele der Feldarbeit

Die Feldarbeit fand von 2014-2016 jeweils in den Wintermonaten Jänner bis März statt und wurde von einem internationalen Team aus Archäologen, Ägyptologen und Prähistorikern unter Einbindung geschulter einheimischer Fachkräfte durchgeführt.

Im Bereich der pharaonischen Stadt (SAV1) umfasste die Untersuchung zwei Grabungsareale im Osten (SAV1E) und Westen (SAV1W) in bis dato noch gänzlich unerforschten Bereichen des Stadtgebiets (vgl. BUDKA 2015). Im Fokus standen die Erfassung architektonischer Relikte des Neuen Reiches zum besseren Verständnis der inneren Stadtstruktur und deren Entwicklung sowie die Lokalisierung der westlichen Stadtmauer. Im zugehörigen Friedhofsareal (SAC5) wurden 2015 und 2016 jeweils in der zweiten Hälfte der Kampagne Untersuchungen zur Belegungsstruktur obertägig durchgeführt. Ein weiterer Teil der Grabungsarbeit konzentrierte sich auf die Ausgrabung eines unterirdischen Grabkomplexes (Grab 26). Im Zeitrahmen der Kampagnen wurden auch Luftbilder des Umfeldes zur topografischen Landschaftsaufnahme in Form von hochauflösenden Orthofotos und digitalen Oberflächenmodellen (DOM) mit Kite Aerial Photography (KAP) angefertigt, um landschaftsprägende Prozesse auch in einem größeren Maßstab erkennen und bewerten zu können.

Wesentlich für die Feldarbeit war dabei, dass die erfassten Daten möglichst zeitnah für weitere Schritte im Arbeitsablauf zur Verfügung stehen konnten. Die Messdaten wurden daher täglich prozessiert und im GIS wurden Visualisierungen der Oberflächen und Orthofotos als Pläne gestaltet, die am nächsten Tag im Feld zur Verfügung standen.

3.2 Methoden, Techniken und Arbeitsablauf

Basis des verwendeten Dokumentationssystems bildet ein seit 2000 an der Universität Wien entwickeltes GIS-basiertes System zur Dokumentation stratigraphischer Grabungen. Dabei stellt im konzeptuellen Modell die stratigraphische Einheit (Stratigraphic Unit – SU) die grundlegende zu beschreibende Entität dar, die auf der Grabung unterschieden und dokumentiert werden kann. Durch das Abtragen der SUs in der umgekehrten Reihenfolge ihrer Ablagerung wird durch die Dokumentation der freigelegten Oberflächen und die Vermessung des Umrisses das dreidimensionale Volumen der Einheiten dokumentiert. Als zusätzliche Beschreibungsebene werden einzelne SUs zu zusammengehörigen Objekten gruppiert, sodass ergänzende Informationen zu gesamten Befunden (z. B. Gruben, Gebäude- und Grabkomplexen etc.) beschreibend erfasst werden; die Geometrie ergibt sich dabei aus der Dokumentation der SUs.

Die Erfassung der Daten erforderte, durch die äußeren Umstände, ein duales System. Neben der digitalen Vermessung, wurden bei der beschreibenden Dokumentation der Befunde und Erfassung der Funde im Feld, Papierformulare eingesetzt. Sie wurden laufend digitalisiert und in Tabellenform im verwendeten GIS-Programm (QGIS 2.12) als Attribute mit den geometrischen Daten verknüpft wurden. Die beschreibende Fundregistrierung erfolgte in einer bereits vorhandenen FileMaker-Datenbank, aus der über Abfragen eine Rückanbindung ans GIS möglich ist. Für die Vermessung wird ein digitaler Tachymeter (Leica TC1203) eingesetzt, dessen Daten mittels eines Skriptes in Geometrien übersetzt werden, die in Form von Shape-Dateien bzw. im wkt-Format im GIS weiterverarbeitet werden. Die fotografische Aufnahme erfolgte mittels digitaler Kamera (Ricoh GR, 16,2 Mp APS-C-Sensor, Festbrennweite f 2.8/18,3 mm, Bildwinkel horizontal 45,4°) die auf einer 4 m langen handgehaltenen Stange montiert war und durch Abschreiten über den Grabungsschnitt geführt wurde. Zur Generierung von 3D-Modellen einzelner Oberflächen wurden die damit erfassten Bilder im Softwarepaket Agisoft Photoscan mit den Passpunkten zusammengeführt und prozessiert.

In der Praxis besteht der Ablauf auf der Grabung dabei aus dem Erkennen der nächsten, jeweils stratigrafisch jüngsten SU, der Vermessung ihrer Ausdehnung, der fotografischen Dokumentation, ihrer Abtragung mit jeweiliger Fundtrennung und Probenahme, sowie Beschreibung der Zusammensetzung (Abb. 2, li.).

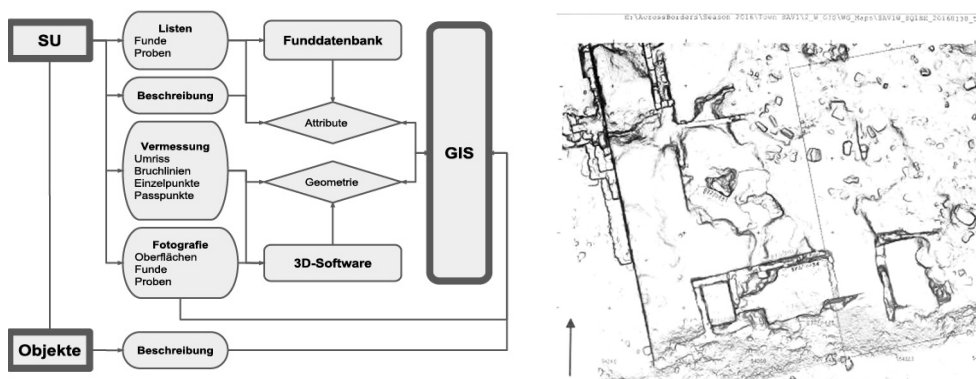


Abb. 2: Schematische Darstellung der Dokumentation; Feldskizze (SAV1W)

Um bereits während der Grabung das volle Potenzial der gesammelten Daten zu nutzen, wurden sie direkt nach ihrer Aufnahme prozessiert und im GIS visualisiert (Mobiles System mit Intel Core i7, 16 GB RAM). Dazu wurden die errechneten Modelle als 2.5D- Oberflächenmodelle exportiert (GRID-Raster, Bodenauflösung von 5 mm) und davon Hangneigungs- und Schummerungsdarstellungen abgeleitet. Zusammen mit den weiteren erfassten Messdaten konnten so tagesaktuelle Pläne erstellt werden, die im Feld als Grundlage für Feldskizzen und Beschreibungen Verwendung fanden (Abb. 2, re.).

3.2.1 Siedlungsgrabung

Im Bereich der Siedlung wurde in zwei Arbeitsbereichen parallel gearbeitet. Die untersuchten Flächen hatten 2016 eine maximale Ausdehnung von 12×12 m (SAV1E) bzw. 10×8 m (SAV1W). Die stratigrafische Grabung wurde von der heutigen Oberfläche an durch eine Sequenz von digitalen Oberflächenmodellen und Orthofotos dokumentiert. Dabei wurde jede einzelne stratigraphische Einheit (SU) sowohl mit der frei gelegten Oberfläche (Top Surface – TS) als auch nach deren Abtrag mit der Unterfläche (Bottom Surface – BS) durch ein Bündel von 70-100 Fotos aufgenommen. Nach Abtrag einer Einheit wurde jeweils der gesamte Untersuchungsbereich abgebildet, sodass damit die Oberflächen der folgenden SUs erfasst waren.

Durch dieses Vorgehen war es möglich, bei der sich manchmal schwierig gestaltenden Definition des Umrisses der nächsten SU aktiv Übergangsbereiche zu untersuchen, um stratigrafische Verhältnisse klären zu können. Die Ausdehnung der SU wurde auf den vorgefertigten tagesaktuellen Plänen im Maßstab 1:50 analog verzeichnet, wobei hier durch die Darstellung als Neigungskarte einzelne Strukturen sicher erkannt werden können und die Zeichnungen eine gute Genauigkeit aufweisen. Die Bestimmung des Umrisses kann so während der Ab-

tragung an die tatsächliche Ausdehnung der Ablagerung angepasst werden. Bei ausreichender Deutlichkeit des Umrisses konnte daher auf eine zusätzliche tachymetrische Vermessung verzichtet werden. Durch die Digitalisierung der Zeichnungen und deren Projektion auf die zugrunde liegenden Oberflächenmodelle kann eine ausreichend genaue dreidimensionale Dokumentation erhalten werden; in Fällen von SUs geringer Mächtigkeit und von Oberflächen mit besonderer Funktion (*feature interfaces*) wurde weiterhin der Tachymeter eingesetzt.

Zur Georeferenzierung der Modelle wurden im Bereich um, und auf stabilen Strukturen (Mauern, Böden etc.) im Arbeitsbereich Passpunkte gesetzt, die gesichert vermarktet wurden und so über den gesamten Grabungsverlauf benutzt werden konnten. Die Stabilität der Punkte wurde durch regelmäßige Kontrollmessungen überprüft.

Zusätzlich zur digitalen Dokumentation wurden sämtliche Baubefunde auch im Feld zeichnerisch erfasst. Dazu wurde für den gesamten Grabungsbereich aus den Modellen eine Zeichengrundlage auf Basis von Neigungskarten und Orthofotos im Maßstab 1:50, bzw. für Details in 1:20, erstellt. Durch die lagerichtige und maßstabsgerechte Grundlage konnte der messtechnische Aufwand der Zeichenarbeiten auf Transparentpapier stark reduziert und mehr Augenmerk auf eine interpretative Kartierung und Verdeutlichung der Befunde gelegt werden.

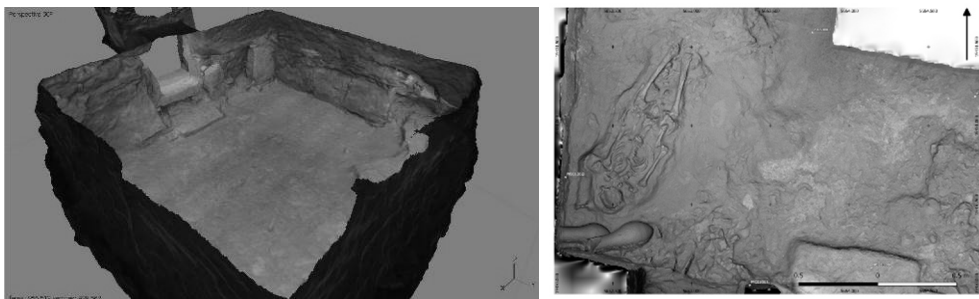


Abb. 3: 3D-Ansicht der Grabkammer; Ausschnitt aus Orthofoto

3.2.2 Friedhofsgrabung

Bei den Oberflächenuntersuchungen im Friedhof SAC5 erfolgte die Aufzeichnung der stratigraphischen Sequenz der Ablagerungen analog zur Siedlungsgrabung. Eine Anpassung erforderte das System allerdings für die Dokumentation der unterirdischen Befunde in Grab 26, dessen Schacht 5,2 m in den anstehenden Fels eingetieft war und von dem aus eine Grabkammer von $4,2 \times 4 \times 1,8$ m nach Norden anschloss. Neben Herausforderungen der geodätischen Vermessung enger Schächte und Hohlräume, waren auch für die fotografische Dokumentation Adaptionen notwendig.

Für die fotografische Aufnahme wurde das Kamerasystem mit einer dedizierten Weitwinkel-Vorsatzlinse (Brennweite 13,5 mm, horizontaler Bildwinkel 60°) und einem Systemblitzgerät ausgestattet. Aufgrund der beengten Verhältnisse wurde die Kamera händisch geführt und manuell ausgelöst. Als Passpunkte wurden Markierungen am Felsen angebracht, die im Ver-

lauf der Grabung wiederholt tachymetrisch aufgenommen wurden. Für die Gesamtdokumentation der Grabkammer wurden etwa 100 Bilder mit einem hohen Überlappungsbereich angefertigt, für Detaildokumentationen einzelner Oberflächen wurde der Kammerboden durch 70-90 Bilder abgedeckt. Aus den Bildern wurden sowohl 3D-Modelle als auch hochauflösende Orthofotos (ausgegebene Bodenpixelauflösung 0,5 mm) berechnet, die während des Grabungsfortschrittes zur Verfügung standen und als maßstabsgetreue Grundlage für interpretative Zeichnungen dienen konnten.

3.2.3 Landschaftsaufnahme

Zusätzlich zu den Grabungsarbeiten wurden auch Daten für kleinräumige Landschaftsanalysen erhoben. Dabei wurde durch ein KAP-basiertes System ein Bereich entlang der Ostküste der Insel von 3,7 km Länge und mit einer Fläche von 44 ha erfasst. An mehreren Tagen wurden einzelne Bereiche durch jeweils 1.200-1.500 Bilder in einer Session abgedeckt. In Summe wurden über 10.000 Einzelbilder unter Zuhilfenahme von 83 Passpunkten zu einem DOM prozessiert. Für den Bereich der pharaonischen Stadt konnte eine Bodenpixelauflösung von 7 cm erreicht werden, sowohl für das Geländemodell als auch die Orthofotos.

4 Ergebnisse und Ausblick

Das Beispiel eines kostengünstigen und aus Komponenten einer konventionellen Grabungsausstattung bestehenden Systems im praktischen Feldeinsatz auf der Insel Sai – sowohl im Siedlungs- als auch im Grabkontext – illustriert die Vorzüge einer GIS-basierten Dokumentationstechnik auch in logistisch und klimatisch schwierigen Einsatzgebieten wie im Nordsudan.

Ziel der Dokumentation der stratigrafischen *single-surface*-Grabung war ein vollständiges volumetrisches 3D-Modell der ergrabenen Bereiche zu erhalten. Insgesamt konnten durch das dargestellte Dokumentationssystem in drei Grabungssaisonen über 300 SUs dreidimensional erfasst werden. Die Verknüpfung mit stratigrafischen Beobachtungen, die in Form einer *Harris-matrix* aufgezeichnet wurden, und Analysen des Fundmaterials sowie mikromorphologischer Proben, ermöglicht Erkenntnisse zu den Formationsprozessen der Fundstelle und damit auch zu unterschiedlichen Nutzungs- und Siedlungsphasen.

Durch die Skalierbarkeit des Systems konnten von der untersuchten Grabkammer hoch aufgelöste virtuelle Modelle und Orthofotos erstellt werden, die in der Auswertungsphase für taphonomische Analysen zu deren Belegung und mehrfachen Wiedernutzung eingesetzt werden; die Eignung dafür konnte bereits andernorts demonstriert werden (ASPÖCK 2015, DELUNTO 2014).

Auch die Einbindung der KAP-basierten Landschaftsanalyse ergaben für die übergeordnete Fragestellung des Projekts AcrossBorders zu antiken Siedlungsstrukturen neue Ergebnisse hinsichtlich der Besiedlungsarten und -dauer und damit ein besseres Verständnis des Siedlungsplatzes.

Als zukünftige Entwicklung des Systems ist vor allem eine Beschleunigung des digitalen Aufnahmeprozesses durch die Verwendung von feldtauglichen mobilen Geräten angestrebt,

sowie eine softwaremäßig verbesserte Integration einzelner Datenquellen durch die Automatisierung von Arbeitsschritten im GIS.

Literatur

- ASPÖCK, E. & FERA, M. (2015), 3D-GIS für die taphonomische Auswertung eines wiedergeöffneten Körpergrabes. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 1-2015, 2-8.
- BUDKA, J. (2015), The Pharaonic town on Sai Island and its role in the urban landscape of New Kingdom Kush, Sudan & Nubia, 19, 40-53.
- DE REU, J., PLETS, G., VERHOEVEN, G., DE SMEDT, P., BATS, M., CHERRETTÉ, B. & DE CLERCQ, W. (2013), Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40 (2), 1108-1121.
- DELL'UNTO, N. (2014), The Use of 3D Models for Intra-Site Investigation in Archaeology. 3D recording and modeling in archaeology and cultural heritage. Theory and best practices. BAR international series, Oxford.
- DONEUS, M., VERHOEVEN, G., FERA, M., BRIESE, C., KUCERA, M. & NEUBAUER, W. (2011), From deposit to point cloud: a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *Geoinformatics FCE CTU Journal*, 6, 81-88.
- NEUBAUER, J. W. (2004), GIS in archaeology – the interface between prospection and excavation. *Archaeological Prospection*, 11 (3), 159-166.
- SMITH, N. & LEVY, T. (2014), ArchField: a digital application for real-time acquisition and dissemination – From the field to the virtual museum. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14 (4), 65-74.