

3D-GIS für die taphonomische Auswertung eines wiedergeöffneten Körpergrabes

Edeltraud Aspöck¹ und Martin Fera²

¹Institut für Orientalische und Europäische Archäologie, ÖAW · edeltraud.aspoeck@oeaw.ac.at

²Initiativkolleg für archäologische Prospektion, VIAS, Universität Wien

Short paper

Zusammenfassung

In diesem Artikel präsentieren wir eine Anwendung von 3D-Modellierungen archäologischer Grabungen für die Beantwortung archäologischer Fragestellungen. Als Fallbeispiel dienen Ausgrabungsdaten eines frühbronzezeitlichen wiedergeöffneten Körpergrabes aus Weiden am See im Burgenland. Für die durch zwei Bestattungen und eine Wiederöffnung komplexen Formationsprozesse des Grabes wurde ein Weg gesucht, der eine integrierte Darstellung und interaktive Analyse ermöglicht. Mittels bildbasierten Modellierungsverfahren wurde eine Sequenz von 3D-Oberflächen hergestellt, welche die Abfolge von Befundsituationen wiedergibt. Die Integration und Analyse der 3D-Modelle im Zusammenspiel mit weiteren archäologischen Daten wurde in einem GIS (QGIS, Esri ArcScene) vorgenommen. Eine solche Verwendung von 3D-Modellen geht über deren bisher häufigste Nutzungen als (zusätzliche) Visualisierungen oder im Bereich von Rekonstruktionen hinaus und stellt einen ersten Schritt zur Nutzung des vollen Potenzials der Daten dar.

1 3D-Dokumentation und Modellierung archäologischer Ausgrabungen: Forschungsstand

Die technischen Möglichkeiten zur dreidimensionalen Erfassung archäologischer Grabungsbefunde haben sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. An der Universität Wien wurden seit 2000 GIS-basierte digitale Methoden zur räumlichen Erfassung einzelner stratigrafischer Einheiten entworfen und eingesetzt (NEUBAUER 2004). Die Verwendung von digitalen Tachymetern und photogrammetrischen Methoden zur Generierung von 3D-Oberflächen und Orthophotos wurde im Jahr 2004 um den Einsatz von terrestrischen Laserscannern ergänzt (DONEUS et al. 2005). Der Fortschritt in der Berechnungsleistung moderner CPUs und GPUs sowie die Weiterentwicklung von Algorithmen zur Bildauswertung und -verarbeitung ermöglichte es in den letzten Jahren zusätzlich Oberflächen durch bildbasierte Verfahren zu gewinnen, die ihre Eignung zur archäologischen Dokumentation bewiesen haben (DONEUS et al. 2011). Durch die vergleichsweise geringen Hardwareanforderungen und die Benutzerfreundlichkeit moderner Softwarepakete bilden bildbasierte Oberflächenrekonstruktionen mittels photogrammetrischer und Structure from Motion(SFM)-Algorithmen mittlerweile eine wichtige Basis archäologischer Grabungsdokumentation (FORTE et al. 2012, DE REU et al. 2013).

Häufig werden die Methoden als kostengünstiger und zeitsparender Ersatz für eine konventionelle Dokumentation gesehen und eine Nutzung der 3D-Daten beschränkt sich auf die Generierung konventioneller Dokumentationsprodukte, zur Ableitung von Orthophotos und zweidimensionalen Lageplänen, in manchen Fällen auch zur Darstellung von Profilen sowie zur Berechnung von Volumina. Ein zusätzlicher Nutzen der Modelle kann in der Vermittlung und Nachvollziehbarkeit von Grabungsbefunden und Abläufen gesehen werden, insbesondere durch attraktive Visualisierungen auch für ein breiteres Publikum (DE REU et al. 2013).

Zunehmend wird aber auch das Potenzial der erfassten 3D-Modelle für weiterreichende Untersuchungen erkannt (DELL'UNTO 2014). Die Vorteile und Möglichkeiten einer *single-surface* Dokumentation in Kombination mit einer schematischen Zeitachse in Form einer Harris-Matrix zur Rekonstruktion der Entstehung archäologischer Fundstellen (d. h. der *Formationsprozesse* bzw. der *Taphonomie*) konnten bei exemplarischen Auswertungen demonstriert werden (FERA 2011).

Dieser Artikel zeigt beispielhaft die Aufbereitung räumlicher Modelle für eine archäologische Fragestellung bei der 3D-Modelle für die Auswertung der Taphonomie eines Körpergrabes in einer GIS-Umgebung eingesetzt werden. Eine ähnliche Analyse wurde jüngst als ‚Virtual Taphonomy‘ von WILHELMSON & DELL'UNTO (2015) vorgestellt.

2 Archäologischer Hintergrund: wiedergeöffnete Gräber

Menschliche Überreste in Gräbern ruhen sehr häufig nicht ‚in Frieden‘. Quer durch alle Epochen findet man archäologische Grabbefunde die nachträglich (post-depositional) manipuliert wurden (ASPÖCK 2005, 2011; KÜMMEL 2009; NEUGEBAUER 1994). Historische und ethnographische Quellen überliefern eine ganze Reihe von Gründen und Umständen, in denen Gräber wieder geöffnet werden. Zum Beispiel als Teil der Begräbnishandlungen, als Teil von Ahnenkult oder ganz einfach zur Beraubung aus materialistischen Gründen.

2.1 Projekt, Mikrotaphonomie und Interpretation wiedergeöffneter Gräber

Ausgangspunkt des Projektes ‚Mikrotaphonomie und Interpretation wiedergeöffneter Gräber‘ (FWF T595) ist die Auffassung, dass Graböffnungen eine archäologische und historische Quelle darstellen, welche uns über Einstellungen und Glaubensvorstellungen in Bezug auf Gräber, Objekte und menschliche Überreste in Gräbern Auskunft geben. Zielsetzung des Projektes ist es, eine neue archäologische Untersuchungsmethode für wiedergeöffnete Gräber zu entwickeln, die auf der *Taphonomie* beruht. Taphonomie inkludiert alle natürlichen und menschlichen Vorgänge, die einen archäologischen Befund geformt haben. Im methodischen Teil des Projektes wird unter anderem durch Feldforschung untersucht, welche taphonomischen Informationen aus wiedergeöffneten Gräbern gewonnen werden können, wenn bei der Befundung besonderes Augenmerk auf eine mögliche Wiederöffnung gelegt wird.

2.2 Ausgrabung eines frühbronzezeitlichen wiedergeöffneten Grabes in Weiden am See, Burgenland

Feldforschungen wurden in Kollaboration mit der OREA-Forschungsgruppe Quartärarchäologie durchgeführt und fanden von Oktober bis Dezember 2013 in Weiden am See im Burgenland als Teil von Rettungsgrabungen (Durchführung ARGE Zeitalter) statt. Bereits an der Oberfläche der Grabung waren menschliche Knochen sichtbar, die zu einem knapp unter der Oberfläche befindlichen Skelett eines adulten Mannes in Bauchlage (Individuum 1) gehörten (KELLER 2014). Darunter lag eine weitere Verfüllschicht (SE2), die sich im westlichen Bereich der Grabgrube in einem kleinen Bereich als eine sehr dunkle und humose Schicht tiefer zog. Dies war die Verfüllung des Schachtes, mit dem das Grab wiedergeöffnet wurde. In ca. 1,2 m Tiefe wurde ein Sarg sichtbar, der im westlichen Bereich mit den Resten der dunkel-humosen Füllung (SE2) verfüllt war. Die Knochen im Oberkörperbereich des unteren Individuums (2), ebenfalls ein erwachsener Mann, waren disloziert (Abb. 1). Solche Befunde entstehen typischerweise bei einem menschlichen Eingriff in das Grab nach der Bestattung (vgl. NEUGEBAUER 1994). Innerhalb des Sargbereiches waren mehrere feinsandige, eingeschwemmte Schichten sichtbar. Es befanden sich drei Gefäße und der Rest einer Bronzenadel im Grab. Die Gefäßtypen sind charakteristisch für die frühbronzezeitliche, Wieselburger Kultur' (NEUGEBAUER 1994, KRENN-LEEB 2011).

2.3 Taphonomische Fragestellungen

Der taphonomische Prozess in Objekt 229 beinhaltet natürliche Prozesse (z. B. Verwesung des Körpers, Vergehen und Zusammenbruch von Grabeinbauten und Hohlräumen, tierische Aktivitäten) und menschliche Vorgänge (Grabwiederöffnung, Manipulation von Individuum 2, Wiederverfüllung des Grabes, Deponierung eines weiteren Körpers). Diese führen zu Verlagerungen der Funde und Füllschichten im Grab. Zur taphonomische Auswertung der erhobenen Daten bot sich eine dreidimensionale Visualisierung und Integration mit weiteren Analyseergebnissen an.

Spezielle Fragestellungen für die dreidimensionale Auswertung betreffen z. B. die Kartierung von Eigenschaften der menschlichen Überreste. Die Lage von Grünverfärbungen am Skelett in Relation zum Fund von Bronzeobjekten kann zum Beispiel darüber Aufschluss geben ob noch weitere Gegenstände im Grab waren. Im Zuge der *archäothanatologischen Auswertung* (DUDAY 2009) kann die Verbindung der Skelettteile (artikulierte/disartikulierte) dargestellt werden, ebenso wie Verlagerungen. Die Visualisierung der Grabungsoberflächen gibt Aufschluss über die Lage zueinander, z. B. ob die schräg nach unten gehende Lage der Beine von Individuum 1 ein Resultat des Einbrechens von Hohlräumen der unteren Bestattung sein könnte. Die Kartierung der Schlämmrückstände wird die Ansammlungen von Kleinfunden in bestimmten Abschnitten von der Grabverfüllung anzeigen, ebenso wie fundlere Bereiche. All diese Informationen sind entscheidend für die taphonomische Auswertung.

3 Taphonomische Auswertung im 3D-GIS: Methode und Software

3.1 Digitale Grabungsdokumentation

Bereits bei der Grabung wurden spezielle Methoden angewandt, um eine Maximierung von Daten für die Rekonstruktion der Taphonomie zu erreichen. Einzelfund-Einmessung bedeutet dass *jeder* Fund drei-dimensional eingemessen wurde. Diese Praxis wird normalerweise nur bei paläolithischen Grabungen angewandt (HÄNDEL 2010). Bei der Ausgrabung von Weiden am See, Objekt 229 wurde auch jeder einzelne Knochen des Skelettes eingemessen. Eine so genaue Dokumentation ist die beste Voraussetzung für die Anwendung der Methode der *Archaeoethnologie* (DUDAY 2009). *Archäoethnologie* dient dazu die Entstehung eines Grabbefundes zu rekonstruieren, wobei insbesondere die Lage der Skelettknochen beachtet wird. Zusätzlich wurden ungestörte Bodenproben für die Auswertung von Bodendünnschliffen genommen (BANERJEA 2015). Alle Füllschichten des Grabes wurden geschlämmt, um auch Kleinstfunde, dazu gehören auch botanische Reste, zu dokumentieren.

Bei der Nachbearbeitung wurden die bei der Grabung erfassten Daten bereinigt und in GIS-konforme Formate übertragen. Die Geometriedaten von 30 dokumentierten Oberflächen wurden als Umrisspolygone und Oberflächenpunkte dargestellt, zusätzlich wurden Einzelbilder mithilfe von gemessenen Passpunkten durch eine projektive Transformation in QuantumGIS entzerrt und georeferenziert und dienten als grobe Orientierungshilfe beim Sortieren der Daten.

3.2 Ableitung von 3D-Oberflächen

Für 16 Oberflächen standen ausreichend Fotos zur Verfügung, um aus ihnen 3D-Oberflächen abzuleiten. Die Fotos der Objekte wurden während der Grabung freihändig mit einer digitalen Spiegelreflexkamera mit Weitwinkelobjektiv von unterschiedlichen Standpunkten erfasst, sodass sie mithilfe von SFM-Algorithmen in AGISOFT Photoscan prozessiert und georeferenziert werden konnten. Dabei standen zwischen 8 und 39 Fotos pro Modell zur Verfügung, im Schnitt wurden 11 Fotos für die Berechnung herangezogen. Die erhaltenen Punktwolken mit zwischen 3 und 6 Millionen Punkten wurden vermascht und mit einer Textur versehen.

Die Georeferenzierung erfolgte über Passmarken, die für die jeweiligen Fotosets auf der Grabung ausgelegt und mit dem Tachymeter eingemessen worden waren. Pro Modell waren zwischen 6 und 10 Punkten vorhanden, die mittleren quadratischen Fehler der Georeferenzierung der einzelnen Modelle liegen zwischen 5 und 19 mm.

3.3 Integration in ein GIS und Vorbereitung zur 3D-Auswertung

Zur Weiterverarbeitung im GIS wurden von den Modellen Digitale Oberflächenmodelle (DOMs) und Orthophotos als Raster mit 1 mm Bodenauflösung abgeleitet. Die Orthophotos wurden zur Digitalisierung einzelner Knochen und Gabelemente herangezogen, wobei die Höhenwerte der Polygone über die dazugehörigen Oberflächenmodelle erfasst werden

können. Zusätzlich wurden 3D-Modelle mit 500.000 Polygonen exportiert. Zur Darstellung und Analyse wurden sie als *multipatch-features* in ArcScene importiert.

Durch die Kombination von hoch aufgelösten 2,5D-Daten und 3D-Modellen ist es möglich thematische fragestellungsbezogene Analysen vorzunehmen und Ergebnisse am 3D-Modell zu kartieren. Eine Kartierung der Grünverfärbungen am Knochenmaterial am 3D-Modell ist momentan in Arbeit und soll z. B. die Frage der Anzahl und Lage von Metallbeigaben im Grab anzeigen, sowie eine mögliche sekundäre Verlagerung durch anthropogene Eingriffe.

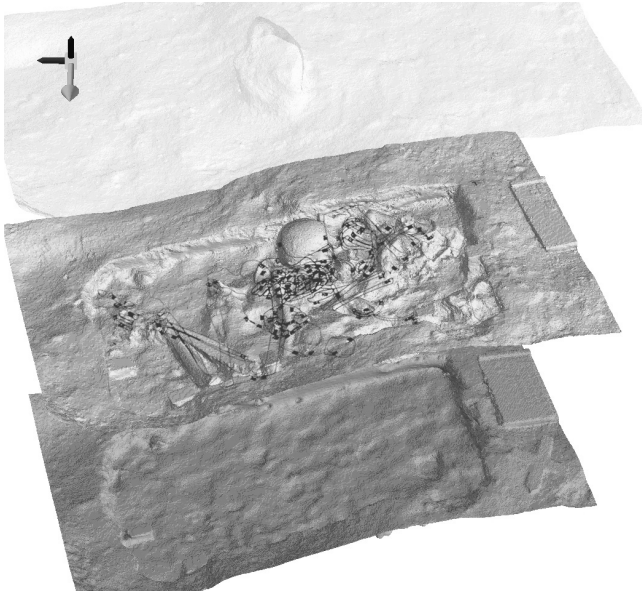


Abb. 1:
Weiden am See, Objekt 229.
Explosionsdarstellung einzelner Oberflächen mit digitalisierten Knochen von Individuum 2.

4 Diskussion

Der Trend zur dreidimensionalen Dokumentation archäologischer Grabungen eröffnet neue Möglichkeiten, die über die bisherige Auswertung von konventioneller Grabungsdokumentation hinausgehen. Für die Grabungsauswertung ermöglicht die dreidimensionale Darstellung der Situationen bei der Grabung zusammen mit Ergebnissen von z. B. physisch anthropologischen, bodenkundlichen und Funddaten ein besseres Verständnis der Prozesse, die zur Bildung der Fundstelle beigetragen haben. Dies stellt einen Fortschritt gegenüber der herkömmlichen Darstellung in 2D dar, d. h. einem Plan mit Höhenangaben und Angaben zur Position von Funden, bei der z. B. naturwissenschaftliche Analyseergebnisse im Text beschrieben werden.

In diesem Artikel haben wir versucht einen Weg aufzuzeigen, wie dies mit aktuellen Softwareprodukten erreicht werden kann. Nichtsdestotrotz bedarf es aber einer Weiterentwicklung eben dieser, da die Möglichkeiten dreidimensionaler Kartierungen und Analysen in aktuellen GIS-Paketen nur rudimentär vorhanden sind, und wir auf zusätzliche Softwarelösungen (z. B. Meshlab) angewiesen sind. Insbesondere eine Einbindung der vierten Dimen-

sion, d. h. der zeitlichen Dauer von Prozessen, würde es ermöglichen, das volle Potenzial der auf Grabungen erfassbaren Daten zu nutzen.

Literatur

- ASPÖCK, E. (2005), Graböffnungen im Frühmittelalter und das Beispiel der langobardenzeitlichen Gräber von Brunn am Gebirge, Flur Wolfholz, NÖ. *Archaeologia Austriaca*, 87, 225-265.
- ASPÖCK, E. (2011), 'Past "disturbances" of graves as a source: taphonomy and interpretation of reopened early medieval inhumation graves at Brunn am Gebirge (Austria) and Winnall II (England)'. *Oxford Journal of Archaeology*, 30 (3), 299-324.
- BANERJEA, R. Y. (2015), Weiden-am-See, Austria. Micromorphology analysis, 2.
- 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. & NEUBAUER, W. (2005), Laser scanners for 3D documentation of stratigraphic excavations. *Recording, Modelling and Visualization of Cultural Heritage*, Baltsavias et al., Eds., Taylor & Francis, 193-203.
- 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.
- DUDAY, H. (2009), *The Archaeology of the Dead: Lectures in Archaeoethnology*. Translated by Anna Maria Cipriani and John Pearce. Oxford.
- FERA, M. (2011), Geophysikalische Prospektion und archäologische Verifikationsgrabung 2000 der prähistorischen Siedlungsstelle Platt-Reitlüsse, NÖ. Diplomarbeit, Universität Wien, Historisch-Kulturwissenschaftliche Fakultät.
- FORTE, M., DELL'UNTO, N., ISSAVI, J., ONSUREZ, L. & LERCARI, N. (2012), 3D Archaeology at Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1 (3), 351-378.
- HÄNDEL, M. (2010), Different Excavation Techniques and their Stratigraphic Results. A comparison of the excavations of Krems-Hundssteig 2000-2002 and Krems-Wachtberg 2005. In: NEUGEBAUER-MARESCH, C. & OWEN, L. (Eds.), *New Aspects of the Central and Eastern European Upper Palaeolithic – methods, chronology, technology and subsistence*. MPK 72, Wien, 2010, 285-293.
- KELLER, C. (2014), Unpublizierter Skelettbericht. Weiden am See Individuum 1.
- KRENN-LEEB, A. (2011), *LEBENSWELTEN – Archäologische Spurensuche in der Region Hainburger Pforte/Römerland*. Begleitbroschüre zur Sonderausstellung im Stadtmuseum Wienertor anlässlich der NÖ Landesausstellung 2011. *Archäologie Österreichs*, 22/1, 2011.
- KÜMMEL, C. (2009), Ur- und frühgeschichtlicher Grabraub. Archäologische Interpretation und kulturanthropologische Erklärung (Münster, Tübinger Schriften zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie, 9).

- NEUGEBAUER, J. W. (1994), *Bronzezeit in Ostösterreich*. Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich. St. Pölten.
- NEUGEBAUER, J. W. (1994), *Zum Grabraub in der Frühbronzezeit Niederösterreichs*. In: SCHMOTZ, K. (Hrsg.), *Vorträge 12. Niederbayerischer Archäologentag (Buch am Erlbach)*, 109-147.
- NEUBAUER, J. W. (2004), *GIS in archaeology – the interface between prospection and excavation*. *Archaeological Prospection*, 11 (3), 159-166.
- SCHIFFER, M. B. (1987), *Formation Processes of the Archaeological Record*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- WILHELMSON, H. & DELL'UNTO, N. (2015), *Virtual Taphonomy: a New Method Integrating Excavation and Post-processing of Human Remains*. *American Journal of Physical Anthropology*. Wiley-Blackwell Publishing.