

3D-DOKUMENTATION UND VISUALISIERUNG EINES FRÜHNEOLITHISCHEN HOLZBRUNNENS – ERFAHRUNGEN UND PERSPEKTIVEN

Rengert Elburg^a, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Reuter^b, Dr. Florian Innerhofer^c

^a*Abteilung Archäologische Denkmalpflege, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland, rengert.elburg@lfa.sachsen.de;*

^b*Zentrale Fachdienste, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland, thomas.reuter@lfa.sachsen.de;*

^c*Zentrale Fachdienste, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland, florian.innerhofer@lfa.sachsen.de*

KURZDARSTELLUNG: Von 2008 bis 2010 wurde beim Landesamt für Archäologie Sachsen (LfA) während einer 28 Monate dauernden feinstratigrafischen Ausgrabung ein über 7000 Jahre alter Brunnen untersucht. Bei der Dokumentation kam die gesamte verfügbare technische Ausrüstung zur Erstellung einer vollständig digitalen dreidimensionalen Dokumentation zum Einsatz. In dem Beitrag wird die Vorgehensweise beschrieben, kritisch beleuchtet und mit den derzeit verfügbaren Methoden verglichen.

1. EIN FRÜHNEOLITHISCHER HOLZBRUNNEN

In der Mitte des 6. vorchristlichen Jahrtausends findet in Mitteleuropa ein einschneidendes kulturelles Ereignis statt. Unter Einfluss von bereits vollneolithischen Kulturen in Südosteuropa vollzieht sich ein Wandel der Lebensweise von mobilen Wildbeutern zu sesshaften Bauern und Viehzüchtern. Diese Umstellung bedingt viele weitere Innovationen, wie die Verwendung von Keramik und das Errichten von ersten permanenten Siedlungen aus festen Behausungen. Die Häuser in dieser, nach der typischen Verzierung der Gefäße Linienbandkeramik genannten Zeit zwischen ca. 5500 und 5000 v. Chr. sind mächtige Bauten aus Holz und Lehm mit einer Länge zwischen 20 und 30 Meter bei einer Breite von sechs bis acht Meter. Von dieser imposanten Architektur haben sich über die Jahrtausende jedoch nur Verfärbungen der Pfosten im Boden erhalten. Die einzige Möglichkeit, Aussagen über die holzhandwerkliche Fähigkeiten dieser ersten Bauern zu treffen, findet sich dort, wo das Holz unter Abschluss von Sauerstoff die Millennia überdauern konnte. Dies ist bislang nur der Fall bei den wenigenholzverkleideten Brunnen aus dieser Zeit, die in den vergangenen Jahrzehnten ausgegraben werden konnten [1].

Einer der besterhaltenen Brunnen dieser Zeit wurde bei der Erweiterung des Flughafens Leipzig/Halle in Nordwest-Sachsen gefunden [2]. Hier konnten bei großflächigen archäologischen Ausgrabungen im Vorfeld des Baus, neben

einer ausgedehnten Siedlung mit den Spuren von etwa 100 Häusern, die hier über eine Periode von etwa 300 Jahre gebaut wurden, auch ein kleines Gräberfeld und ein Brunnen freigelegt werden. Letzterer zeigte sich, als in einer sehr tiefen, sedimentverfüllten Grube, etwa drei Meter unter der heutigen Geländeoberkante, Holzreste angetroffen wurden, die wohl von der Auskleidung des Brunnenschachtes stammten. Eine Bohrung in der Verfüllung zeigte, dass noch etwa 3,5 Meter der Anlage im Erdreich steckten und mit einer hervorragenden Erhaltung von organischen Funden gerechnet werden konnte. Weil eine dem Befund angemessene Freilegung vor Ort aus technischen und organisatorischen Gründen nicht möglich war, wurde entschieden, den Brunnen samt Baugrube und einem allseitig umgebenden Streifen von ca. 40 cm des anstehenden Sediments als riesigen Block zu bergen [3]. Dieser Block mit einer Kantenlänge von knapp drei Meter, einer Höhe von insgesamt 4,5 Meter und einem Gewicht von ca. 70 Tonnen wurde mit einem Tieflader zum LfA nach Dresden gebracht und in einer ehemaligen Panzerhalle abgestellt. In der Zeit, bis die endgültige Ausgrabung durchgeführt werden konnte, wurde der Block ständig gewässert und im Winter mittels Heizelementen und einer dicken Isolationsschicht vor Frost geschützt.



Abb. 1: Der 70-Tonnen-Block mit dem steinzeitlichen Brunnen in einer ehemaligen Panzerhalle beim Landesamt für Archäologie Sachsen.

Als die Ausgrabung Anfang 2008 begonnen wurde, musste zunächst ein Gerüst um den Block aufgestellt und mit einer Treppe versehen werden, um dem Grabungsteam die Freilegung und Dokumentation zu ermöglichen. Die nicht-normierten Maße des Blockes ergaben gezwungenermaßen eine etwas improvisierte Konstruktion, die jedoch ausreichend Stabilität für ein sicheres Arbeiten besaß (Abb. 1). Im Vorfeld der Grabung wurde ein ausführlicher Fragenkatalog entwickelt, der neben der Untersuchung des Aufbaus der Anlage speziell darauf zielte, die Verfüllungsprozesse in dem eigentlichen Brunnenschacht zu entschlüsseln. Auch wenn aus finanziellen Gründen kaum Neuanschaffungen getätigt werden konnten und mit der im LfA vorhandenen Ausrüstung gearbeitet werden musste, waren doch alle Voraussetzungen für eine hochgenaue Grabung und Dokumentation, quasi unter Laborbedingungen, gegeben.

2. AUSGRABUNG UND DOKUMENTATION

Der entscheidende Nachteil bei der konventionellen, analogen Dokumentation von archäologischen Ausgrabungen mittels Handzeichnungen und Fotos ist die Tatsache, dass im Wesentlichen dreidimensionale Strukturen und Zusammenhänge auf zweidimensionalen Medien reduziert werden. Um dem entgegenzuwirken, wurde beschlossen, die gesamte Dokumentation mittels

Tachymeter sowie entzerrten und georeferenzierten Digitalfotos digital durchzuführen. Die Stationierung des Tachymeters erfolgte über Passpunkte, die auf der Grabung außen am Block angebracht und eingemessen wurden. Das Koordinatensystem der Ausgrabung in Leipzig wurde auf ein dichtes Lagenetz weiterer Referenzpunkte in der Lagerhalle überführt.

Damit konnte eine optimale Netzkonfiguration für die freie Stationierung des Tachymeters auf dem Block gewährleistet und jede Messung ohne Koordinatentransformationen in die Messdaten der Ausgrabung integriert werden. Die größte grabungstechnische und dokumentarische Herausforderung war die gleichzeitige Freilegung und Dokumentation von zeitlich unterschiedlichen Vorgängen (Abb. 2): Die zuerst angelegte Baugrube, die darin errichtete Brunnenverschalung, die dazwischen befindliche Auffüllung der Baugrube, die Spuren aus der Benutzungszeit der Anlage, die überwiegend auf der Sohle zu erwarten waren, als auch die Verfüllung des Schachtes nach der Aufgabe des Brunnens als Wasserlieferant.

Wie sich bereits auf der Ausgrabung angedeutet hatte und wie es auch von zeitgleichen Brunnen anderswo bekannt ist, war die Auskleidung des Brunnenschachtes in Blockbauweise aufgezogen. Durch die sehr hohe Empfindlichkeit gegen Druck und Austrocknung der Konstruktionshölzer war es deshalb notwendig, jeweils ein Balkenpaar mittels künstlicher Straten oder Abhüben, wie diese in der Archäologie bezeichnet werden, freizulegen, sie zu dokumentieren und anschließend zu bergen.

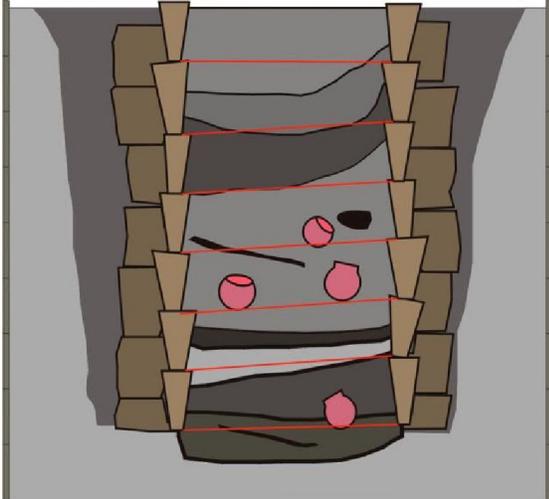


Abb. 2: Schematischer Querschnitt durch den Brunnen mit Baugrube, Holzverschalung und Verfüllschichten mit zuunterst die Schöpfmulde aus der Nutzungszeit. Die roten Linien verdeutlichen wie künstliche Grabungseinheiten die natürlichen Schichten durchtrennen.

Hierdurch würden zwangsläufig sowohl in der Verfüllung des Brunnenkastens als auch in der Baugrube eventuell vorhandene stratigraphische Einheiten geteilt. Dadurch würde das sich darin befindliche Material in unterschiedliche Komplexe künstlich getrennt werden. Nur durch eine vollumfängliche dreidimensionale Dokumentation, wobei eventuell feststellbare Schichttrennungen nahtlos über mehreren Grabungseinheiten verfolgt und ergänzt werden könnten, wäre es möglich, solche grabungsbedingte Aufteilungen zu erkennen und zu korrigieren. Zudem wurde entschieden, mit einer vollständigen Einmessung jedes einzelnen Fundes und Einschlusses zu arbeiten. Diese Vorgehensweise ist bei paläolithischen Grabungen, bei denen die Stratigraphie häufig sehr ephemer ist und sich nur im Nachhinein anhand der Fundverteilung feststellen lässt, üblich. Durch die sehr stabile Ausführung der hölzernen Außenschale des Blockes war es möglich, diese sowohl als Unterlage für die Arbeitsplattformen für die Ausgrabung als auch zur Befestigung der Vermessungs- und Dokumentationsgeräte zu verwenden, so dass sich das geplante Dokumentationsverfahren ohne Abstriche umsetzen ließ (Abb. 3).

Für die Dokumentation stand ein reflektorloses Tachymeter vom Typ Leica TCR 307 zur Verfügung, das mittels der

AutoCAD-Applikation TachyCAD [4] direkt mit einem geländetauglichen Panasonic Toughbook verbunden war. Dies ermöglichte, alle Messungen sofort in eine AutoCAD-Zeichnung einzufügen und visuell auf Konsistenz zu überprüfen. Das Tachymeter konnte an jeder gewünschten Stelle mit einem Schnurgerüsthalter an der Außenverschalung des Blockes befestigt werden, so dass eine günstige Messposition immer gewährleistet war. Für die fotografische Dokumentation wurde eine digitale Spiegelreflexkamera Nikon D60 mit verschiedenen Objektiven verwendet, wobei ein 20 mm Festbrennweite-Weitwinkelobjektiv sowie ein Zoomobjektiv 28-85 mm mit MakroEinstellung am häufigsten zum Einsatz kamen. Alle Aufnahmen wurden im RAW-Format aufgenommen, die am Ende jeden Tages ausgelesen, sortiert und, nach eventuell notwendiger Belichtungskorrektur, zu unkomprimierten TIFF-Dateien konvertiert wurden. Die Befestigung fand, analog zu dem Verfahren beim Tachymeter, mithilfe eines stufenlos verstellbaren Stativarms des Typs Manfrotto Magic Arm ebenfalls an der Verschalung des Blockes statt. Dieser Stativarm wurde auch verwendet, um die Kamera an der Dachkonstruktion der Halle zu montieren und so Senkrechtaufnahmen der gesamten Ausgrabungssituation zu machen.



Abb. 3: Das Grabungsteam bei der Arbeit. Im Vordergrund das Tachymeter, mit der die gesamte Vermessung durchgeführt wurde.

Die Freilegung des oberen halben Meters der Anlage stellte sich als wenig spektakulär heraus: Die Konstruktionshölzer des Brunnenkastens waren nur noch in Resten erhalten, und in der natürlich eingespülten Verfüllung fanden sich nur wenige, kleine Funde. Die darunter befindlichen Holzlagen waren zwar besser konserviert, aber noch so fragil, dass eine intakte Bergung unmöglich war. Deshalb wurde entschieden zu versuchen, die Zusammenhänge auf dem Block mit dem hauseigenen terrestrischen Laserscanner RIEGL LMS Z-420i, der seit 2004 beim Landesamt überwiegend auf Stadtkerngrabungen für die 3D-Dokumentation eingesetzt wird, dreidimensional zu erfassen. Dies scheiterte an der Instabilität des Gerüsts, wodurch es nicht möglich war das 16 Kilo schwere Gerät samt Stativ ausreichend erschütterungsfrei aufzustellen. Als Lösung wurden auf den Ecken des Blocks kleine Podeste als Standfläche angebracht, was zwar zur gewünschten Standfestigkeit führte, jedoch die Aufnahmen selber stark erschwerte. Wegen des für die Aufnahmen notwendigen Mindestabstands von 150 cm zum Objekt sowie sehr schleifende Winkel war es nur möglich, ein lückenhaftes und durch viele Artefakte fragmentiertes 3D-Modell zu erstellen (Abb. 4).



Abb. 4: Gesamtmodell der Brunnenverschalung.

3. EIN DREIDIMENSIONALES MODELL DES BRUNNENKASTENS

Die darunterliegenden Balken waren jedoch bereits so gut erhalten, dass eine andere Methode getestet wurde. Die Kanten der Balken wurden, wie bereits vorher, mit dem Tachymeter eingemessen, um so ein Drahtmodell der Konstruktion zu erhalten. Nach der fotografischen Dokumentation wurden die Hölzer mit Vermessungspunkten in Form von rostfreien stählernen Nadeln mit unterschiedlich farbigen Glasköpfen versehen. Anschließend wurden die Nadeln von verschiedenen Standpunkten aus eingemessen und die Koordinaten gemittelt. Es konnte eine Genauigkeit von 1,5 mm erreicht werden, was in etwa dem Durchmesser eines Nadelkopfes entspricht.



Abb. 5: Durch die für den terrestrischen Laserscanner ungünstigen Aufnahmebedingungen lückenhaftes und fehlerbehaftetes 3D-Modell.

Nach der Bergung der Hölzer wurden diese von dem zuständigen Restaurator des LfA gereinigt und die Balken mit dem Nahbereichsscanner Konica Minolta VI-910 vollständig gescannt (vgl. Beitrag von Th. Reuter u. a. in diesem Band). Die entstandenen Punktwolken sind mithilfe der Software Geomagic Studio zueinander registriert, bereinigt und trianguliert worden. Die anschließende Korrektur von Fehlstellen und das Beseitigen von Messfehlern vervollständigten die Datenauswertung eines gescannten Balkens. Das Scannen und die Auswertung dauern je Holzbalken etwa 100 Minuten. Die Modelle wurden als PLY-Datei exportiert und mit der in Zusammenarbeit mit der TU Chemnitz entwickelten Anwendung TroveSketch in publikationsfertige Abbildungen umgesetzt [5]. Dank der Passpunkte können die Modelle ebenfalls mithilfe von Geomagic Studio georeferenziert werden, so dass sie lagegetreu zueinander

zusammengeführt werden können. Die Visualisierung der gesamten virtuellen Brunnenanlage erfolgte mit der Software Autodesk 3ds Max (Abb. 5). Die große Anzahl an Hölzern machte eine Datenreduktion der ursprünglichen 3D-Modelle für die Visualisierung notwendig, während für die Einzeldokumentation die voll aufgelösten 3-Modelle genutzt worden sind.

Auf der gleichen Höhe, also etwa 2,5 Meter oberhalb der Brunnensohle, änderte sich zudem die Menge und Zusammensetzung der Funde in der Verfüllung grundlegend. Anstatt vereinzelter Gegenstände fanden sich jetzt massive Pakete aus Funden und organischen Objekten wie Äste und Zweige. Damit einhergehend wurde die Stratigrafie deutlich komplexer. Anfänglich waren die wenigen Funde nur mit einem Punkt eingemessen worden, wobei ein AutoCAD-Block, entwickelt für die zweidimensionale Grabungsdokumentation, an dem tiefsten Punkt, wo der Fund auf dem Sediment auflag, in die Messdatei eingefügt wurde. Dieses Vorgehen ergibt zusammen mit den Daten aus den entzerrten digitalen Fotos für kleinere, kompakte Objekte wie Scherben und Steine ausreichend Informationen für die stratigrafische Einordnung des Fundes. In den tieferen Verfüllschichten mit hervorragender organischer Erhaltung und sehr hohem Fundaufkommen reichte dieses Verfahren jedoch nicht mehr aus, um die Lage der einzelnen, häufig dicht gepackten, Funde und deren stratigrafisches Verhältnis ausreichend festzuhalten. Die Fundpakete in den unteren Metern des Brunnens enthielten viele tausend Objekte. Die Funde umfassten intakte und zerscherbte Gefäße, Steinpackungen bis hin zu Ästen und Zweigen, die häufig durch ihre schräge Lage die einzigen Anhaltspunkte zur Erkennung von Schichtungen in den sehr dunklen Sedimenten waren. Deshalb wurde dazu übergegangen, die einzelnen Objekte mit dem Tachymeter mittels 3D-Polylinien direkt in AutoCAD einzuzeichnen, um die räumliche Lage und Ausdehnung der Objekte genauer zu dokumentieren.

Dabei wurde jedes Objekt auf einen eigenen entsprechend benannten Layer im Zeichnungsverwaltungssystem von AutoCAD abgelegt und getrennt nach Materialien (Holz, Stein, Keramik usw.) über die Layer-Eigenschaften farbkodiert (Abb. 6). Dieser etwas höhere Aufwand während

der Grabung stellte sich während der parallel verlaufenden Aufbereitung der Dokumentation und bei der späteren Auswertung der Daten als sehr hilfreich heraus. Die Fundgruppen und einzelnen Fundstücke können so über die Layerverwaltung schnell lokalisiert und visualisiert werden.

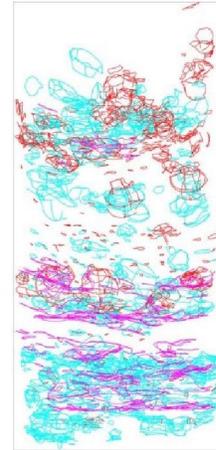


Abb. 6: Ausgewählte Fundgruppen in der inneren Verfüllung, wobei sich die unterschiedlichen Pakete gut unterscheiden lassen. Magenta: organische Funde wie Schnüre; Zyan: unbearbeitete Steine; Rot: Keramik.

Auch bei der Überführung der Messdaten in andere Programme war die Trennung bis auf das Niveau der Fundnummern sehr zeitsparend. Die 3D-Polylinien konnten direkt in das digitale 3D-Modell eingelesen werden und dienten dort dazu, um die nach Reinigung – und wo nötig Konservierung – gescannten Funde zu georeferenzieren, was bei einem Fundaufkommen von mehr als 6000 Einzelobjekten nur in ausgewählten Fällen möglich war. Somit ist die zusammengeführte AutoCAD-Datei mit allen eingemessenen Funden und Einschlüssen die wichtigste Basis für die feinstratigrafische Analyse der Verfüllung, wobei sich bereits auf dem ersten Blick deutliche Dichteunterschiede und Schichtungen zeigen (Abb. 7).



Abb. 7: Entzerrtes Bild eines Grabungsplanums mit direkt mit dem Tachymeter eingemessenen Umrissen der Funde.

Für die weitere Auswertung, und speziell für die Darstellung der Ergebnisse, dient überwiegend das in 3ds Max visualisierte Modell aus Verschalung und Verfüllung. So konnten alle Balken des Brunnenkastens dendrochronologisch untersucht und datiert werden. Die Ergebnisse zeigten, dass für den Bau der Anlage im Jahr 5099 v. Chr. Holz von mindestens 13 Eichen verwendet wurde. Eine farbliche Darstellung der einzelnen Dendrogruppen zeigt eine sehr unterschiedliche Verwendung der einzelnen Stämme, die ohne eine Visualisierung nur sehr schwierig vermittelbar gewesen wäre [6]. Auch die zu Flächen triangulierten Nivellements, mit denen die Schichttrennungen während der Grabung festgehalten wurden, zeigen zusammen mit den Modellen der ausgewählten Funde eindringlich, wie komplex die Verfüllung des Brunnens aufgebaut ist (Abb. 8). Zudem können anhand der Scans die Funde schnell und zuverlässig Abbildungen für wissenschaftliche und populärwissenschaftliche Publikationen erstellt werden [7].

4. RÜCKBLICK UND AUSBLICK

Seit dem Abschluss der Grabung im Sommer 2010 haben sich die Möglichkeiten für die dreidimensionale Dokumentation von archäologischen Grabungen rasant entwickelt. Neben den beiden bereits etliche Jahre im Einsatz stehenden Laserscanner, die in diesem Beitrag erwähnt werden, sind seit kurzem zwei weitere Scanner beim LfA in Gebrauch (vgl. auch Beitrag Th. Reuter u.a. in diesem Band). Ein Breuckmann smartSCAN-HE

Streifenlichtscanner mit einer Reihe von verschiedenen Messfeldern wird überwiegend bei der Funddokumentation eingesetzt und ermöglicht Auflösungen bis zu 20 µm im fertigen Modell. Speziell für mobile Einsätze unter beengten Bedingungen wurde für das mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) finanzierte Projekt ArchaeoMontan ein Artec EVA Handscanner angeschafft. Der Handscanner erbringt gute Ergebnisse bei der untertägigen Dokumentation von

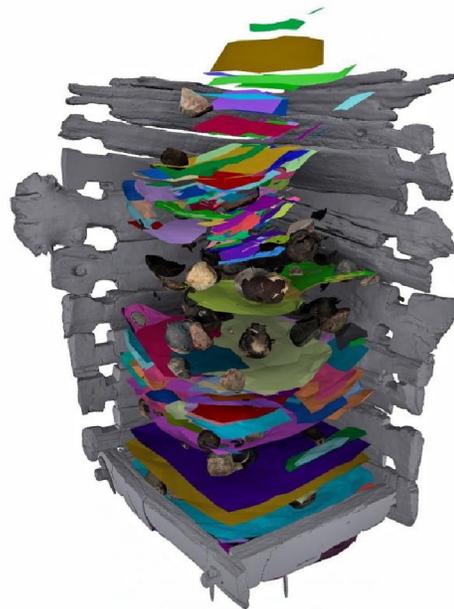


Abb. 8: Querschnitt durch die Brunnenverschalung mit Schichtung und Renderings der gescannten Gefäßen.

Arbeitspuren in mittelalterlichen Bergwerken, insbesondere aber auch in der allgemeinen Handhabung unter schwierigen Einsatzbedingungen [8]. Auch werden mehr und mehr Anwendungen für das Erstellen von 3D-Modellen mittels der Methode *Structure from Motion* verfügbar, wobei die Pakete Visual SfM [9] und Agisoft Photoscan hervorzuheben sind. Speziell die letztere Anwendung wird in der archäologischen Welt als einer der wichtigsten neuen Dokumentationsmethoden angesehen und erfreut sich zunehmender Beliebtheit [10]. Es stellt sich somit die Frage, wie mit den jetzt verfügbaren Mitteln das oben dargelegte Dokumentationsverfahren verbessert werden könnte. Die Verwendung von *Structure from Motion* und vor allem die daraus entstehenden digitalen Orthofotos wären ein

wertvoller Ersatz für die entzerrten Einzelbilder der inneren Verfüllung, die immer nur in der Entzerrungsebene maßstabsgerecht sind. In der spezifischen Situation von einem im Block geborgenen Holzbrunnen kann es jedoch keine Komplettlösung für die Gesamtdokumentation sein. Durch die ungünstige Geometrie von ‚einer Kiste in einer Kiste‘ ist es so gut wie unmöglich, alle Ecken an der Außenseite fotografisch so zu erfassen, was für die Erstellung eines lückenlosen 3D-Modells erforderlich ist. Zu diesem Zweck würde ersatzweise oder ergänzend eine Aufnahme mit dem mobilen Handscanner sicherlich hilfreich sein. Hierbei müsste jedoch überprüft werden, ob die so generierten, sehr umfangreichen Daten sich noch problemlos handhaben lassen, auch wenn diese Hürde mit der schnell steigenden Leistung der Rechner-Hardware nur von vorübergehender Art sein wird. So ein Modell wird allerdings ausreichend sein, um als Grundmodell zu dienen, um die gescannten Einzelbalken zueinander zu positionieren und somit das Anbringen von Vermessungspunkte überflüssig zu machen. Als Grundlage für eine Gesamtrekonstruktion wie in Abbildung 5 sind die in situ gescannten Elemente aus mehreren Gründen jedoch nicht zu verwenden. Erstens werden wegen der Art des Aufbaus die Bereiche, wo die Hölzer Kontakt miteinander haben, nicht erfasst, so dass es nie möglich sein wird, geschlossene ‚wasserdichte‘ digitale Objekte für Abbildungen und weitere Anwendungen zu erstellen. Zweitens ist es während der Freilegung nicht machbar, die Balken so zu reinigen, dass das anhaftende Sediment und die häufig auftretenden Verkrustungen rückstandslos entfernt werden. Diese oberflächige Verunreinigung würde stark auf Kosten der Lesbarkeit der vorhandene Bearbeitungsspuren gehen, die Aufschluss geben über Form und Anwendung der steinzeitlichen Geräte.

Mit dem Laserscanner Konica Minolta VI-910 wurden wegen der dunklen Farbe des Holzes und der glänzenden Oberfläche, welche die Anwendung der stärksten Laserintensität notwendig machten, Punktdichten von ca. 0,7 mm erreicht, was mit dem Breuckmann-Streifenlichtscanner mühelos unterboten werden könnte. Die jetzige Auflösung ist jedoch völlig ausreichend für die erstmalige Quantifizierung von Bearbeitungsspuren an neolithischen

Hölzern, wobei jedoch speziell für die teilweise sehr flachen Spuren eine um einen Faktor zwei verbesserte Auflösung manchmal hilfreich sein könnte. Dies würde allerdings zu einem erheblichen Anstieg des Datenvolumens führen, mit allen Problemen, die dieses für das Handling und die Archivierung mit sich bringt. Fest steht jedoch, dass mit der leistungsfähigen Software Optocat der Firma Breuckmann deutlich Zeitgewinne gegenüber dem alten Verfahren zu erzielen sind.

Bei einer gleichartigen Dokumentationsaufgabe würde von Anfang an auf ein Nachzeichnen der Fundkontouren während der Grabung als 3D-Polylinie in AutoCAD gesetzt werden. Diese Methode hat sich bei der Aufbereitung und Interpretation als äußerst hilfreich erwiesen. Eine nachträgliche Extraktion der Objekte aus einem 3D-Modell scheint dagegen wegen des erheblichen Nachbereitungsaufwands unrealistisch, welcher die Zeitinvestition einer Aufnahme während der Freilegung um ein Vielfaches übertrifft. Zudem ist es häufig bereits am Objekt schwierig, den genauen Verlauf der Ränder zu unterscheiden, was bei sehr dunklen Gegenständen im fast schwarzem Schlamm in einem digitalen Modell, wo unklare Bereiche bei Bedarf nicht weiter freigelegt werden können, noch deutlich schwieriger ist (vgl. Abb. 6).

Abschließend kann festgestellt werden, dass die angewandten Verfahren vom Arbeitsaufwand als wissenschaftlichem Erkenntnisgewinn her angemessen und erfolgreich waren. Das Projekt sollte als Anreiz verstanden werden, den Einsatz von computergestützten Dokumentationsmethoden weiter zu entwickeln und nicht als Endpunkt der Entwicklung stehen. Ebenfalls zeigt es, dass die mittels 3D-Scanning erstellten Modelle nicht nur als Basis für öffentlichkeitswirksame Visualisierungen dienen können, sondern auch für die wissenschaftliche Analyse einen deutlichen Mehrwert haben.

5. LITERATURHINWEIS

- [1] Elburg, Rengert: Weihwasser oder Brauchwasser? Einige Gedanken zur Funktion bandkeramischer Brunnen. *Archäologische Informationen* 34: 25–37, 2011. doi:10.11588/ai.2011.0.10154.

- [2] Friederich, Susanne: Luftige Zukunft. Der Ausbau des Flughafens Leipzig/Halle führte zu bemerkenswerten archäologischen Entdeckungen. *Archæo: Archäologie in Sachsen* 2: 4–9, 2005.
- [3] Markgraf, Heinrich, Gerhard Bretzke: Die Leipziger Brunnenbergung – Reisevorbereitungen für einen steinzeitlichen Brunnen. *Archæo: Archäologie in Sachsen* 3: 12–15, 2006.
- [4] kubit GmbH (2014): *TachyCAD, Software für das Aufmaß bestehender Geometrien*, Online im Internet: <http://kubit.de/CAD/Produkte/TachyCAD/index.php>. (Stand 18. Oktober 2014)
- [5] Brunett, Guido, Christian Hörr. (2010): *TroveSketch: 3D-Funddokumentation in der Archäologie*, Online im Internet: <https://www.tu-chemnitz.de/informatik/GDV/forschung/projekte.php?id=56> (Stand 18. Oktober 2014).
- [6] Tegel, Willy, Rengert Elburg, Dietrich Hakelberg, Harald Stäuble, Ulf Büntgen: Early Neolithic water wells reveal the world’s oldest wood architecture. *PLoS ONE* 7: e51374, 2012. doi:10.1371/journal.pone.0051374.
- [7] Elburg, Rengert: Bandkeramiek anders: een Vroeg-Neolithische waterput uit altscherbitz (Saksen, Duitsland). *Archeologie* 14: 5–27, 2013.
- [8] Göttlich, Fanet: Arbeitsspuren im Altbergbau – dreidimensional dokumentiert / Trojrozměrná dokumentace s hornickým nářadím ve starých dolech. In: Regina Smolnik (Hrsg.), *ArchæoMontan 2014. Ergebnisse und Perspektiven / Výsledky a výhledy. Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 29*. Landesamt für Archäologie Sachsen, Dresden, 2014, 81–93.
- [9] Wu, Changchang: Towards Linear-Time Incremental Structure from Motion. In: *Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision, 3DV ’13*. IEEE Computer Society, Washington, 2013, 127–134. doi:10.1109/3DV.2013.25.
- [10] Reinhard, Jochen: Structure from Motion, Drohnen & Co. Neue Wege in der Dokumentation archäologischer Ausgrabungen. *Tugium* 29: 177–188, 2013.

6. BILDNACHWEIS

Abb. 1 – 3, 6, 8: Rengert Elburg, LfA.

Abb. 4: Fanet Göttlich, LfA.

Abb. 5, 8: Thomas Reuter, LfA.