

# 3D-FUNDDOKUMENTATION – EIN ANWENDUNGSBERICHT AUS DEM LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Reuter<sup>a</sup>, Rengert Elburg<sup>b</sup>, Dr. Florian Innerhofer<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Zentrale Fachdienste, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland, thomas.reuter@lfa.sachsen.de;*

<sup>b</sup> *Abteilung Archäologische Denkmalpflege, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland,  
rengert.elburg@lfa.sachsen.de;*

<sup>c</sup> *Zentrale Fachdienste, Landesamt für Archäologie Sachsen, Deutschland, florian.innerhofer@lfa.sachsen.de*

**KURZDARSTELLUNG:** Die 3D-Funddokumentation ist seit 2005 fester Bestandteil im Landesamt für Archäologie. Bisher sind über 9000 Objekte gescannt und dokumentiert worden. Verschiedene Projekte wie die Ausgrabung des neolithischen Brunnens von Altscherbitz, das DFG-Projekt „Automatisierte Klassifikation“ und derzeit das Ziel3-Projekt „ArchaeoMontan“ zeigen deutlich die Vorteile der hochauflösenden Digitalisierung archäologischer Funde. Mit den drei im Landesamt eingesetzten Nahbereichsscannern können nahezu alle Objektklassen digitalisiert und für die archäologische Aufarbeitung bereitgestellt werden. Die hohe Effektivität, der erhebliche Gewinn der Darstellungsgenauigkeit und die Möglichkeit komplexe Befunde rekonstruieren zu können, haben die 3D-Funddokumentation seit neun Jahren als Standardanwendung fest etabliert.

## 1. SITUATION UND MOTIVATION

Das archäologische Archiv Sachsen führt derzeit etwa 20 Millionen Einzelobjekte im Bestand. Jedes Jahr kommen, abhängig von der Anzahl der vom Landesamt für Archäologie (LfA) durchgeführten Grabungen, etwa 250.000 bis 300.000 Objekte hinzu. Eine Vielzahl an Funden sind bereits dokumentiert und publiziert, für viele archäologische Funde steht dies jedoch noch aus.

Nach wie vor sind zweidimensionale technische Zeichnungen und Fotos Standard in der archäologischen Dokumentation. Dafür sind ausgebildete technische Zeichner und ein hoher Zeiteinsatz notwendig. Das Ergebnis ist stets durch subjektive Faktoren der Aufnahme und Wiedergabe von Objektmerkmalen, z.B. Verzerrungen, beeinflusst [1]. Durch die stete Personalreduktion musste nach neuen Lösungsansätzen gesucht und effizientere Technologien und Arbeitsabläufe entwickelt werden.

Dafür wurde 2005 ein 3D-Labor im LfA eingerichtet (Abb. 1). Bis heute sind etwa 9.000 Objekte gescannt worden. Die Digitalisierung großer Fundmengen ist jetzt eine wichtige Grundlage für die archäologische Aufarbeitung und stellt zudem eine Bestandssicherung dar. Durch eine Vielzahl

unterschiedlicher Projekte mussten Arbeitsabläufe entwickelt werden, um unter verschiedenen Einsatzbedingungen grabungsbegleitend zu scannen und möglichst viele Objektklassen flexibel, effektiv und hochgenau dokumentieren zu können.



*Abb. 9: Das 3D-Labor im LfA mit Breuckmann smartSCAN-HE, Tageslichtlampen, Lichtzelt und stabiler Rotationseinheit.*

Das archäologische Fundgut umfasst ein sehr breites Spektrum an Objektklassen. Keramik, Metall, Stein und organische Funde unterscheiden sich allein durch ihre Größe und vor allem in ihren restauratorischen Ansprüchen im

Arbeitsablauf erheblich. Wenige Zentimeter große Schmuckfragmente, aber auch sehr große Nasshölzer aus dem mittelalterlichen Bergbau, mit mehreren Metern Länge, müssen effizient digitalisiert werden können.

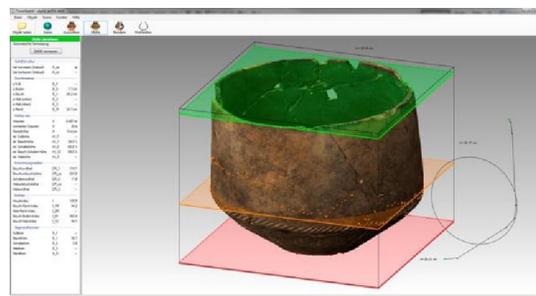
Zur Steigerung der Effektivität und der Datenqualität sind derzeit drei 3D-Scanner für die Funddokumentation im Einsatz. Im 3D-Labor werden Konica Minolta VI-910 und ein Breuckmann smartSCAN-HE genutzt. Für schwierige Aufnahmebedingungen oder extrem große Objekte steht zudem ein Handscanner Artec EVA zur Verfügung. Zusätzlich wird *Structure from Motion* (SfM) als Ergänzung zur Befundaufnahme bei der Feldarbeit eingesetzt.

## 2. SOFTWAREGESTÜTZTE 3D FUND-DOKUMENTATION

Meist werden in Publikationen zunächst die Abbildungen betrachtet, wodurch besondere Forderungen nach Deutlichkeit, Eindeutigkeit und Genauigkeit gestellt werden. Zum Zeitpunkt der Einführung der 3D-Funddokumentation im LfA gab es keine geeignete Softwarelösung, die den Ansprüchen zur Dokumentation archäologischer Funde genügte.

Für die Weiterverarbeitung der 3D-Daten wird seit 2006 in Kooperation mit der TU Chemnitz das Dokumentationsprogramm TroveSketch entwickelt. TroveSketch ist eine speziell auf archäologische Anforderungen entwickelte und einfach zu bedienende Softwarelösung. Die Ergonomie wird durch einen hohen Automatisierungsgrad erreicht. Damit die Objekte richtig im Raum orientiert sind, gibt es verschiedene Funktionen zum automatischen Ausrichten der 3D-Modelle. So müssen Gefäße nach dem Gefäßboden und zentriert ausgerichtet sein, während Gefäßscherben automatisch an den passenden Radius positioniert werden.

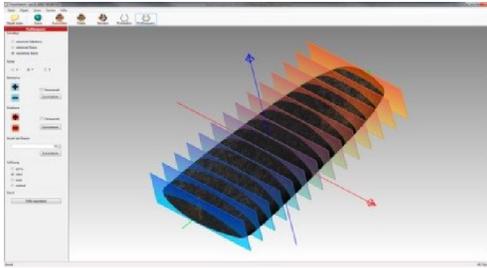
Eine automatische Vermessungsfunktion extrahiert alle relevanten Maße und ermittelt Indizes und Segmentformen. Die Ergebnisse können exportiert werden um damit die Grundlage für die automatisierte Klassifizierung zu bilden.



**Abb. 10:** Ein bronzezeitlicher Doppelkonus (Dippelsdorf, Ldk. Meißen) wurde in TroveSketch automatisch vermessen. Die Ergebnisse werden visualisiert bzw. in einer Liste zusammengestellt.

Den hohen Informationsgehalt der 3D-Modelle setzen verschiedene 3D-Shader in standardisierte und maßstäbliche Abbildungen um. Die Fülle an Materialgruppen und Objektklassen machen es notwendig, vielfältige Arten von 3D-Shadern zur Verfügung zu stellen. 3D-Shader sind Softwaremodule, die während des Renderns die Farbgebung eines Objektes bezüglich Lichtquellen oder Lichtfarbe berechnen. Die Visualisierung wird dabei in Echtzeit berechnet und kann direkt begutachtet werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass einzelne Materialgruppen von bestimmten 3D-Shadern besonders profitieren. Die entstehenden Effekte visualisieren die im 3D-Modell vorhandenen detaillierten Informationen und erweitern den klassischen Informationsgehalt einer archäologischen Zeichnung nachhaltig [2].

Zur Vervollständigung der archäologischen Dokumentation können Schnitte mit dem integrierten Profileditor hergestellt werden. Mit frei positionierbaren Schnittebenen können an jeder beliebigen Stelle Halb- oder Vollprofile in eine zweidimensionale Kontur extrahiert werden. Die Kontur kann nachbearbeitet, z.B. um Fehlstellen zu korrigieren, und in eine Vektorgrafik exportiert werden. Bei Steingeräten ist oftmals nicht nur ein Profilschnitt notwendig, sondern mehrere Schnitte in einem fest definierten Intervall, um die Form des Gerätes eindeutig beschreiben zu können. Mit dem erweiterten Profileditor werden eine definierte Anzahl an Schnitten im gleichbleibenden Intervall erzeugt und extrahiert.



**Abb. 11:** Eine Profilssequenz wird aus einer frühneolithischen Dechselklinge (Altscherbitz, Ldk. Nordsachsen) extrahiert.

In den meisten Fällen sind Keramikfunde zerstört und liegen nur noch als Scherben vor. Anhand einer Randscherbe ist es schwierig, die ursprüngliche Gefäßform zu erkennen und damit den Fund exakt zu klassifizieren. In TroveSketch können mehrere Objekte manuell zueinander ausgerichtet werden, um die Fundstücke virtuell zu rekonstruieren. Das zu TroveSketch gehörende *Modul Vessel Reconstructor* bietet darüber hinaus die Funktionen, um aus Randscherben die ursprüngliche Gefäßform zu visualisieren. Aus einer oder mehreren Schnittebenen wird eine Kontur erzeugt, aus der ein Rotationskörper generiert wird. Die interpolierte Darstellung der ursprünglichen Form vereinfacht die Klassifizierung des Fundes erheblich. Die Darstellung verzichtet dabei auf eine Angleichung von Strukturen und Verzerrungen zwischen originalem 3D-Modell und Rotationskörper, um stets zu verdeutlichen, dass es sich um eine Interpolation der Daten handelt. Darüber hinaus kann die virtuelle Rekonstruktion wiederum in TroveSketch für die weitere Dokumentation genutzt werden.



**Abb. 12:** Die ursprüngliche Form einer bronzezeitlichen Schale (Kötitz, Ldk. Meißen) ist mit dem *Vessel Reconstructor* interpoliert worden.

### 3. ANWENDUNGEN IM LFA

Zunächst wurde überwiegend Keramik dokumentiert. Im Rahmen des DFG-Projektes zur automatisierten Klassifikation wurde durch das Scannen innerhalb kurzer

Zeit die nötige Datengrundlage geschaffen. Das berührungslose und zerstörungsfreie Messverfahren eignet sich darüber hinaus besonders für die hoch empfindlichen organischen Funde. Häufig sind die Objekte aus restauratorischen Gründen nur über kurze Zeit der normalen Luft und Temperatur ausgesetzt. Die hohe Aufnahmegeschwindigkeit, von nur wenigen Sekunden pro Scan, reduziert die notwendige Zeit für die Dokumentation im Vergleich zur traditionellen Dokumentation mit Fotos und Zeichnungen erheblich und schont die empfindlichen Funde. Heute umfassen Feuchthölzer aus verschiedenen Zeitstellungen einen großen Teil der zu bearbeitenden Fundmenge. Im Folgenden werden beispielhaft vier Projekte vorgestellt, bei denen die 3D-Funddokumentation wesentliche Vorteile gebracht hat und neue archäologische Erkenntnisse gewonnen worden.

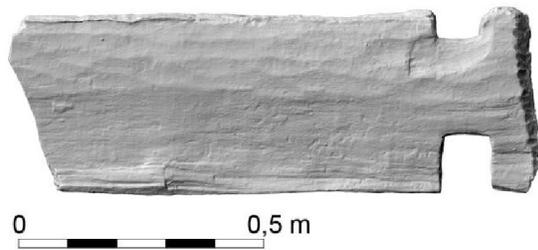
#### 3.1 DER FRÜHNEOLITHISCHE BRUNNEN VON ALTSCHERBITZ

Von 2008 bis 2010 wurde die in einem Block geborgene frühneolithische Brunnenanlage von Altscherbitz ausgegraben, mit dem Ziel eine vollständige virtuelle Rekonstruktion des Brunnenkastens herzustellen [3]. Es wurde ein Arbeitsablauf entwickelt um grabungsbegleitend eine große Menge an Feuchthölzern zu digitalisieren. (vgl. Beitrag von R. Elburg u.a. in diesem Band).

Nach der Bergung wurden alle Fundhölzer von den Holzrestauratoren gereinigt und direkt im Anschluss daran gescannt. Die Aufnahme konnte in etwa 45' durchgeführt werden, gefolgt von 1h Datenauswertung. Die Ergebnisse standen zeitnah für erste Untersuchungen zur Verfügung. Damit konnte bereits während der Ausgrabung die virtuelle Rekonstruktion sowie jedes einzelne Holz separat untersucht und erste Ergebnisse zur Holzverarbeitung im Neolithikum gewonnen werden [4].

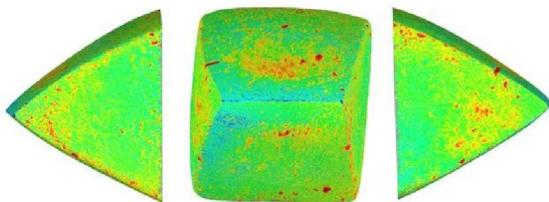
Fundfrische Hölzer weisen meist eine sehr dunkle, fast schwarze Textur auf. Die Dokumentation des Fundes mittels Fotografie zeigt daher nicht den vollen Informationsgehalt. Die Objektfarbe überdeckt häufig relevante Oberflächeninformationen. Die Visualisierung mit diffusem Licht zeigt dagegen eine Vielzahl von Bearbeitungsspuren auf der Holzoberfläche. Durch Vermessung der Spuren im

3D-Modell war es möglich, die Spuren einzelnen in der Verfüllung gefundenen Werkzeugtypen zuzuordnen.



**Abb. 13:** Ein Konstruktionsholz zeigt in TroveSketch mit diffusem Licht deutliche Bearbeitungsspuren.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden derzeit mit praktischen Experimenten getestet. Dazu wurden von allen im Brunnen gefundenen Werkzeugen exakte Kopien angefertigt. Bei dem seit 4 Jahren in Egersheim stattfindenden Experiment werden mit den Werkzeugkopien Eichen gefällt, mit dem Ziel, die Holzbearbeitung im Neolithikum nachzuvollziehen. Für die Dokumentation der Baumfällungen wird im Feld der Handscanner Artec EVA genutzt. Dabei wird in festen Intervallen der Fortschritt der Fällkerben gescannt [5]. Im Ergebnis erhält man einen Überblick über die Entwicklung und die Ausprägung der Bearbeitungsspuren beim Fällen eines Baumes mit steinzeitlichen Werkzeugtypen. Mittels Streifenlichtscanner wurden die Kopien der Klingen vor bzw. nach der Benutzung gescannt. Ein 3D-Vergleich der beiden digitalen Modelle verdeutlicht die Art der Abnutzung der Klinge in Abhängigkeit vom Material.



**Abb. 14:** 3D-Vergleich der Schneide eines Breitkeils. Blau visualisiert den Abtrag von Material durch Benutzung.

Die Ergebnisse der Experimente werfen stets neue Fragestellungen auf, die es zu bearbeiten gilt. Dabei spielt zunehmend die 3D-Funddokumentation eine wesentliche Rolle, wie z.B. für die andauernde Aufarbeitung der

Ausgrabung der Brunnenanlage von Altscherbitz. In die virtuelle Rekonstruktion sind weitere Datenquellen, z.B. Stratigraphie, Dendrochronologie und Funde, integriert worden und stellt damit ein wichtiges Informationssystem für die archäologische Aufarbeitung dar.

### 3.2 ARCHAEO-MONTAN

Die bei der Ausgrabung von Altscherbitz gewonnenen positiven Erfahrungen bezüglich des Arbeitsablaufs im Umgang mit großen Mengen organischer Funde, fließen derzeit in das 2012 begonnene Ziel3-Projekt ArchaeoMontan ein. Das Projekt untersucht den Altbergbau im sächsischen Erzgebirge und Nordböhmen [6]. Die Feldarbeit erfolgt parallel zu Maßnahmen der Bergsicherung. Die Gefahr von Tagesbrüchen ist vor allem in einer alten Bergstadt wie Dippoldiswalde allgegenwärtig. Die Sicherungsmaßnahmen sehen dabei das Auffahren alter Stollen vor, gefolgt von der vollständigen Verfüllung mit Beton. Danach ist es nicht mehr möglich die Stollen zu befahren und archäologisch zu untersuchen. Aus diesem Grund ist die Grabungsdokumentation im Bergwerk an hohe Ansprüche geknüpft. Es müssen innerhalb kürzester Zeit die Stollen vermessen, Bearbeitungsspuren und Funde in situ dokumentiert und geborgen werden.

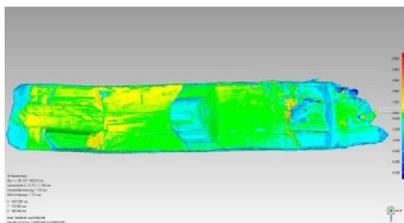
Die Arbeit ist durch die sehr engen Platzverhältnisse gekennzeichnet. In der Nässe und der Dunkelheit können die beiden hochauflösenden 3D-Scanner nicht eingesetzt werden. Neben der tachymetrischen Vermessung werden vor allem der mobile Handscanner und SfM für die in situ Dokumentation eingesetzt [7]. Die 3D-Modelle dienen als Grundlage für Rekonstruktionen, bestehend aus den separat im 3D-Labor gescannten Holzfunden. So konnten komplette Befunde, wie der einer nahezu vollständig erhaltenen Haspel in der gescannten Haspelkammer und damit der in situ Zustand, virtuell wiederhergestellt werden.

Das erneute Scannen der gereinigten Holzfunde mit dem Streifenlichtscanner ist sinnvoll, da der Erhaltungsgrad der Holzfunde im Allgemeinen sehr gut ist. Die Bedingungen unter Tage, mit den sehr feuchten Sedimenten, begünstigen den Erhalt von Holzfunden und verlangsamen den Prozeß der Verrottung erheblich [7]. Es mussten daher nun

erheblich mehr Nasshölzer bearbeitet werden. Insgesamt sind bisher über 650 Nasshölzer gescannt worden.

Der anschließende Prozeß der Konservierung dauert, abhängig von Fundgröße und Erhaltungsgrad, bis zu mehreren Jahren. Im Rahmen des Ziel3-Projektes werden die Holzfunde in einem hochmolekularen Polyethylenglykol (PEG) getränkt. In dieser Zeit sind die Funde nicht für die archäologische Arbeit greifbar. Dafür werden nun die 3D-Modelle genutzt, um die Funde zu beschreiben, zu vermessen und zu publizieren. Die originalen Funde sind erst nach dem Trocknen in einer Vakuumgefrier-trocknungsanlage wieder handhab- und z.B. für museale Zwecke nutzbar.

Unterstützend zur restauratorischen Arbeit werden Funde die aufwendig gereinigt werden müssen und einzelne Segmente nur durch Sediment zusammengehalten werden mit einem Grobscan vordokumentiert. Durch die Entfernung des Sediments ist die ursprüngliche Lage einzelner Segmente meist nur schwierig wiederherzustellen. Besonders instabile Segmente können während der Reinigung in weitere einzelne Teile zerfallen. Auf Grundlage des Grobscans können die 3D-Modelle der gereinigten Einzelteile Stück für Stück wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt werden.



**Abb. 15:** 3D-Vergleich der Modelle vor und nach der Trocknung. Schwindung und Quellung werden mittels farbiger Bereiche visualisiert.

Alle fertig konservierten Holzfunde werden nach dem Reinigen von PEG-Resten nochmals gescannt. Das 3D-Monitoring erfasst und dokumentiert die Volumenänderungen nach der Trocknung der Funde. Der 3D-Vergleich der beiden Messungen zeigt die Bereiche der Dimensionsveränderung des fertig konservierten, trockenen Holzes im Vergleich zum wassergesättigten Vorzustand. Das 3D-Monitoring wird in den nächsten Jahren

weitergeführt werden und soll zur Beantwortung weiterer Fragestellungen bzgl. der Eignung von PEG und dessen Wechselwirkungen zwischen Holz und im Holz befindlichen Substanzen beitragen [7].

### 3.3 OFENKACHELN AUS DER SPÄTGOTHIK UND RENAISSANCE

Glasierte Ofenkacheln sind in der Spätgotik und Renaissance meist aufwendig verziert und zeigen z.T. sehr filigrane Motive. Der Fertigungsprozess beginnt mit dem Anfertigen der Patrizie. Davon wird ein Negativ, die Matrize, abgenommen und schließlich die endgültigen Kacheln abgegossen und gebrannt. Bei Ausgrabungen in Sachsen, in anderen Bundesländern und im näheren europäischen Ausland sind Kacheln dokumentiert worden, die ähnliche Motive aufweisen. Daraus stellt sich die Frage über die Handelswege und ob überhaupt die fertigen Kacheln oder aber die Matrizen selbst gehandelt wurden. Bei einer Stadtkerngrabung in Leipzig konnten sehr viele Bruchstücke von Kacheln und Modellen geborgen werden. Die zeichnerische Dokumentation allein der motivgleichen Kacheln würde einen hohen personellen und zeitintensiven Einsatz bedeuten. Das 3D-Scannen beschleunigt die Aufnahme erheblich, wobei etwa 20 bis 25 Ofenkacheln am Tag gescannt werden können. Bisher sind mehr als 220 Motivkacheln dokumentiert. Ziel ist es, nach einer Auswahl der Objekte gleiche Motive von verschiedenen Fundorten zu vergleichen und im besten Falle die dazugehörigen Modelle zuzuordnen. Hier bietet die Arbeit mit den 3D-Daten neue Möglichkeiten.

Die bildhafte Dokumentation wird durch die Nutzung des Texture-Mapping Moduls im Programm Optocat, die Softwareumgebung des Breuckmann smartSCAN-HE, in ihrer visuellen Qualität erheblich verbessert. Bei der Berechnung der Objekttextur werden die für den Scan aufgenommenen Bilddaten genutzt und auf der Textur befindliche Spitzlichter effektiv entfernt. Das Ergebnis ist eine reflexionsfreie Abbildung der glasierten Kachel, wie es in einem Fotolabor kaum möglich ist herzustellen.

Die hohe Auflösung der Kacheln (0,1mm Punktabstand) ermöglicht es, die 3D-Modelle nach Beschädigungen oder Abnutzungsspuren zu untersuchen. Der Vergleich der

Spuren unter motivgleichen Kacheln lässt nunmehr Rückschlüsse auf eine gemeinsame Herkunft zu.



*Abb. 16: Spätgothische Nischenkachel (Leipzig), um 1500, in reflexionsfreier Farbdarstellung und mit diffusum Beleuchtungsmodell.*

Konnten in den Töpfereiabfällen auch entsprechende Matrizen identifiziert und gescannt werden, so ist es möglich, Kacheln den entsprechenden Matrizen zuzuordnen. Analog dazu ist die Analyse der Matrizen und Patrizen möglich.

Die laufende Aufnahme großer Mengen an Kacheln und Matrizen erweitert die Datengrundlage stetig. Zukünftig soll über die Skalierung um einen Schrumpfungsfaktor versucht werden, Kacheln nicht nur über eventuelle Beschädigungen zuzuordnen, sondern auch über 3D-Vergleiche der entsprechend skalierten 3D-Modelle von Kacheln, Matrizen und Patrizen.

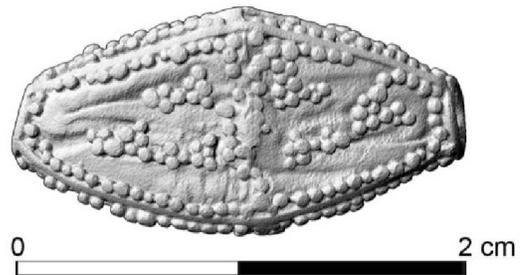
### **3.4. HACKSILBERSCHATZFUND VON CORTNITZ**

2005 wurde von Sondengängern auf einem Acker bei Cortnitz (Weißenberg) ein Hacksilberfund entdeckt. Die folgende Ausgrabung brachte mehr als 1550 Funde hervor. Der Hortfund umfasst Münzen und Münzfragmente aus mehreren Ländern Europas sowie Schmuckfragmente und Silberbarren, die im 9. bis 12. Jh. als Tauschwährung benutzt wurden.

Das vom BMBF geförderte Forschungsprogramm Geisteswissenschaftliches Zentrum Geschichte und Kultur

Ostmitteleuropas untersucht in einem in 2014 begonnenen Projekt den Cortnitzer Silberfund.

Die sehr kleinen Funde sind filigran und zum Teil nur wenige Millimeter groß. Die Digitalisierung erfolgt mit dem Streifenlichtscanner (Messfeld 60mm), der eine maximale Auflösung von etwa 20 µm erreicht. Die folgenden Untersuchungen und die Dokumentation jedes einzelnen Stückes erfolgt rechnergestützt. Die Ergebnisse zeigen bereits jetzt, dass die Daten für die Analyse der Herstellungstechniken genutzt werden können. Erschwerend ist zudem, dass der Hortfund Bestandteil der Dauerausstellung im Staatlichen Museum für Archäologie Sachsen ist und damit die Originale kaum oder gar nicht für Untersuchungen herangezogen werden können.



*Abb. 17: Eine Perle des Hacksilberfundes von Cortnitz. Die kleinen aufgelöteten Kugeln durchmessen etwa 0,5mm.*

### **4. ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK**

Die 3D-Funddokumentation ist als Fachgebiet fest in die Arbeit des LfA integriert. Bis heute sind über 9000 Fundobjekte digitalisiert worden. Zunächst nur als Alternative zur traditionellen zeichnerischen Dokumentation genutzt, zeigten die Ergebnisse schnell weitere Anwendungen auf. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Mannigfaltigkeit archäologischer Funde dar. Die Objektgrößen variieren zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern, die restauratorischen Anforderungen zwischen einfach handhabbaren Keramikscherben bis hin zu äußerst fragilen Schmuckstücken. Dass es sich um zerstörungsfreie und berührungsfreie Messverfahren handelt, genügt in jedem Fall den hohen restauratorischen Ansprüchen.

Allein diese Anforderungen erfordern eine flexibel einsetzbare Messtechnik. Die zwei zur Verfügung stehenden stationären 3D-Scanner Breuckmann smartSCAN-HE und Konica Minolta VI-910 und der Handscanner Artec EVA bieten nicht nur die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der objektbezogenen Anforderungen anpassungsfähig zu sein, sondern vor allem um in Abhängigkeit der wissenschaftlichen Fragestellung Funde zu digitalisieren. Die 3D-Fund- und Befunddokumentation im Feld wird dabei durch SfM und nach wie vor durch Tachymetrie sinnvoll ergänzt. Für die Wahl der Aufnahmemethode sind dabei Nutzen, Aufwand und Weiterverarbeitung abzuschätzen und letztendlich muss die Wirtschaftlichkeit gegeben sein.

Die Messmethoden und Instrumente ersetzen sich nicht, sondern werden bedarfsgerecht ausgewählt und miteinander kombiniert. Der hohe Informationsgehalt wird während der Aufarbeitung durch Zusammenführen der Datenquellen genutzt. Zusätzlich zur traditionellen Grabungsdokumentation wird damit ein umfassender Informationspool geschaffen.

Die Funddokumentation, und dabei vor allem Abbildungen in Publikation, bestehen nach wie vor aus zweidimensionalen technischen Zeichnungen und Fotografien. Die Entwicklung des Programmes TroveSketch ermöglicht erstmals für große Fundmengen in sehr kurzer Zeit absolut vergleichbare Abbildungen herzustellen. Dies stellt eine Standardisierung der archäologischen Funddokumentation dar. Der hohe Automatisierungsgrad und die Beachtung ergonomischer Gesichtspunkte ermöglichen eine intuitive Bedienung und eine sehr kurze Einarbeitungszeit für den Nutzer. Der Datenexport in übliche Datenformate erleichtert die Grabungsaufarbeitung und insbesondere die redaktionelle Arbeit erheblich.

Nicht nur die rein wissenschaftliche Arbeit profitiert von der Nutzung moderner 3D-Aufnahmeverfahren, sondern hinsichtlich populärwissenschaftlicher und musealer Fragestellungen ergibt sich ein weiteres Anwendungsgebiet. Fotorealistische Abbildungen, virtuelle Rekonstruktionen und Animationen von komplexen Befunden können dem Ausstellungsbesucher wissenschaftliche Sachverhalte anschaulich vermitteln.

Mittels 3D-Druck sind Exponate aus 3D-Daten produzierbar. Sie können als Ausstellungsobjekt dienen, wenn das originale Objekt nicht präsentiert werden kann, oder sind wichtige Bestandteile von Ausstellungsstationen.

Die durch 3D-Technik gewonnen Informationen und Erkenntnisse können in Ausstellungen der Öffentlichkeit präsentiert werden. Jedoch ist dies nur für einen Bruchteil und ausgewählte Objekte realisierbar. Moderne Webtechnologien (WebGL, HTML5) bieten darüberhinaus die Möglichkeit auf nahezu allen Endgeräten Informationen im Internet zu präsentieren. Eine sich derzeit in Konzeption befindliche Webpräsenz wird zunächst ausgewählte, später die umfangreiche Sammlung digitalisierter Funde des LfA jedem Internetnutzer frei zugänglich präsentieren. Neben den 3D-Inhalten werden die neuesten Erkenntnisse zu den Funden und archäologische Zusammenhänge dargelegt.

Das Ziel muss es sein, den gesamten Fundbestand des LfA zu digitalisieren. Im Gegensatz zu bestehenden und langsam wachsenden Sammlungen, verzeichnet das LfA einen enormen Fundzuwachs pro Jahr. Die Digitalisierung von 20 Millionen Objekten wäre effektiv nur mit einer automatisierten und vollautomatischen Aufnahmestrategie realisierbar (vgl. Beitrag von P. Santos in diesem Band). Durch das breite Objektspektrum müssen jedoch die verwendeten Technologien entsprechend flexibel sein. Das LfA sieht daher den Einsatz mehrerer Systeme und Verfahren, die nach Bedarf ausgewählt und kombiniert werden können, vor. Bestimmend für diese Strategie ist nicht zuletzt die Objektgröße. So ist eine systematische Digitalisierung in chronologischer Reihenfolge der Fundnummern nicht umsetzbar. Vielmehr werden, neben den laufenden Grabungsprojekten, geschlossene Fundkomplexe ausgewählt, eine archäologische Fragestellung formuliert und die gewonnenen Daten zeitnah den zuständigen Wissenschaftlern zur Verfügung gestellt.

Hochauflösende 3D-Scanner und massenhafte Digitalisierung erzeugen immer größer werdende Datenmengen die vorgehalten und letztendlich der Langzeitarchivierung zugeführt werden müssen. Die im LfA genutzten freien Standards PLY und OBJ können, abhängig von der zukünftigen Entwicklung in der Datenverarbeitung,

die Zeit verlängern, in der Informationen verarbeitet werden können. Die Dateiformate sind jedoch nicht für die Langzeitarchivierung geeignet. Somit besteht die Aufgabe, Standards, hier für digitale Daten und speziell 3D-Daten in der Archäologie, zu erarbeiten und zu entwickeln.

## 5. LITERATURHINWEIS

- [1] Lindinger, Elisabeth; Hörr, Christian: Hightech meets Handmade – Ein neu entwickeltes Scanverfahren für archäologische Objekte. In: *Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege*, Band. 48/49, 9 – 18, Dresden, 2008.
- [2] Reuter, Thomas: Informace z virtuálního světa – 3D-dokumentace nálezů v Landesamtu für Archäologie v Drážďanech. In: *Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2009 – 2010*, str., Most, 2011. [im Druck]
- [3] Elburg, Rengert: 70 Tonnen Steinzeit. *Archaeo*, Band. 5, 12 – 17, 05/2008.
- [4] Tegel, Willy; Elburg, Rengert; Hakelberg, Dietrich; Stäuble, Harald; Büntgen, Ulf: Early Neolithic Water Wells Reveal the World's Oldest Wood Architecture. *PLOS One*, Band. 7, Heftnr. 12, e51374, 12/2012, doi:10.1371/journal.pone.0051374.
- [5] Elburg, Rengert; Hein, Wulf; Probst, Anja; Walter, Peter: Field trials in Neolithic woodworking – (Re)Learning to use Early Neolithic stone adzes. In:

Kelm, Rüdiger (ed.) *Archaeology and Crafts - Experiences and Experiments on Skills in European Prehistory*. Albersdorfer Forschungen zur Archäologie und Umweltgeschichte 5. [im Druck]

- [6] Elburg, Rengert; Göttlich, Fanet; Reuter, Thomas: From the skies into the underground. Remote sensing, survey and documentation in a medieval mining landscape in the Ore Mountains. In: Anreiter, P. u.a.: *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 2nd Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT, 7.-10. November 2012*, 215 – 221, Innsbruck, 2012.
- [7] Göttlich, Fanet; Reuter, Thomas: Methoden der grabungsbegleitenden 3D-Dokumentation im Altbergbau. In: Smolnik, Regina: *Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege*, Beiheft 26, 209 – 223, Dresden, 2012.
- [8] Schmidt-Reimann, Philipp: Planung, Organisation und Ablauf der Nassholzkonservierung im Rahmen des Ziel3-Projektes ArchaeoMontan. In: Smolnik, Regina: *Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege*, Beiheft 29, 55 – 64, Dresden, 2014 [im Druck].

## 6. BILDNACHWEIS

Abb. 1: Rengert Elburg, LfA.

Abb. 2 – 9: Thomas Reuter, LfA.