

# 20 Jahre in Drei Dimensionen – Rückblick und Perspektiven der 3D- Funddokumentation mittels Nahbereichsscannern im Landesamt für Archäologie Sachsen

Thomas Reuter<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Das Landesamt für Archäologie Sachsen (LfA) nutzt seit 2005 industrielle Messsysteme zur hochwertigen 3D-Erfassung archäologischer Funde. Aus einem Pilotprojekt entstand ein fester Fachbereich, in dem bis heute über 25000 Objekte digitalisiert wurden. Die große Menge vorhandener 3D-Daten werden schrittweise im Online-Katalog „Archaeo3D“ zugänglich gemacht. Darüber hinaus bietet das LfA Studierenden die Möglichkeit praxisnahe Kenntnisse und Fähigkeiten im Umgang mit den 3D-Scannern sowie in digitaler Dokumentation und Datenmanagement zu erlangen. Der Beitrag zieht eine Bilanz dieser Entwicklung, stellt zentrale Meilensteine und Projekte vor und blickt auf Perspektiven und Herausforderungen für die kommenden Jahre.

**Schlagwörter** 3D Scanning · Archäologie · Kulturgut · Streifenlichtscanner · 3D-Funddokumentation

## 1 Einführung

In der Archäologie spielt die bildliche Dokumentation von Funden seit jeher eine entscheidende Rolle im wissenschaftlichen Diskurs. Da diese von Hand gefertigten technischen Zeichnungen immer mit einem hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden sind und das so gewonnene Abbild immer subjektiv geprägt ist, bestand schon seit langem das Interesse, effizientere, kostengünstigere und objektivere technische Lösungen zu finden, um die zeichnerische Dokumentation zu optimieren. Auch die technische Fotografie konnte hier nur bedingt Fortschritte bieten, was an der nicht steuerbaren Informationsdichte von Aufnahmen liegt – einzelne geometrische Oberflächenmerkmale werden immer von der Gesamttextur des fotografierten Objektes überdeckt. Außerdem muss hier immer die Gefahr von Verzerrungen und die nicht vorgegebene Maßhaltigkeit kompensiert werden (Innerhofer et al., 2010).

### 1.1 Hardware

Mit der Anschaffung des Laserscanners Konica Minolta VI- 910 erfolgte 2005 der Beginn der kontinuierlichen 3D-Erfassung archäologischer Funde und die Entwicklung eines effizienten Arbeitsablaufs. Darüber hinaus wurde mit einem Lichtzelt, Fotobeleuchtung und Platz für eine geeignete Arbeitsumgebung gesorgt. Der Aufgabenschwerpunkt lag

zunächst auf dem Scannen großer Mengen von Keramik, wobei das Potential des zerstörungsfreien und effizienten Verfahrens mit wachsender Erfahrung schnell bestätigt wurde. Bis Ende 2012 wurden etwa 8000 Fundobjekte, aus zahlreichen Materialgruppen, mit dem Minolta-Scanner aufgenommen. In den darauffolgenden Jahren konnten die Fähigkeiten mit der Inbetriebnahme zweier Streifenlichtscanner (Breuckmann/AICON SmartScan-HE R5 und R8) erheblich verbessert werden, zumal der Fachbereich als 3D-Labor im LfA verstetigt wurde.



**Abbildung 1** Die zur Verfügung stehenden 3D-Scanner für unterschiedliche Anforderungen und Anwendungen.

Um auch flexibel auf Ausgrabungen bzw. unter schwierigen Einsatzbedingungen arbeiten zu können, wurde

---

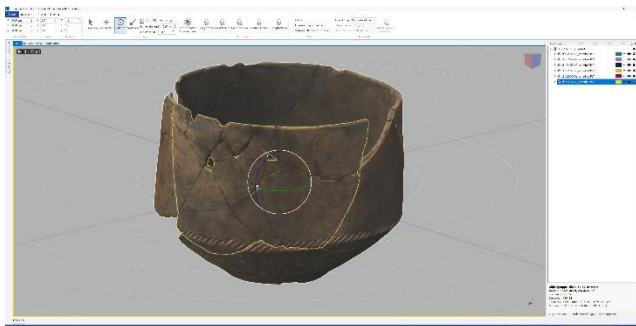
<sup>1</sup> Landesamt für Archäologie Sachsen, Zur Wetterwarte 7, 01109 Dresden, Deutschland, E-Mail: thomas.reuter@lfa.sachsen.de

die Ausstattung mit mobilen Handscannern (ARTEC EVA und LEO) vervollständigt (Abb. 1). Structure-from-Motion wird im LfA vor allem bei Ausgrabungen verwendet bzw. nur in Ausnahmefällen, wenn die 3D-Scanner nicht zum gewünschten Ergebnis kommen. In den vergangenen 20 Jahren wurden etwa 25000 Fundobjekte gescannt und stehen der Weiterverarbeitung orts- und zeitungebunden zur Verfügung.

## 1.2 TroveSketch

Von Anfang an war es das Ziel, die Qualität und den Informationsgehalt traditioneller, technischer Fundzeichnungen auf Grundlage der 3D-Modelle maßgeblich weiterzuentwickeln. Dazu wurde ab 2006 die Anwendung TroveSketch in Kooperation mit dem Institut Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung der TU Chemnitz entwickelt, die seit vielen Jahren als Standardanwendung für die 3D-Funddokumentation im LfA zu sehen ist (Lindinger et al., 2008).

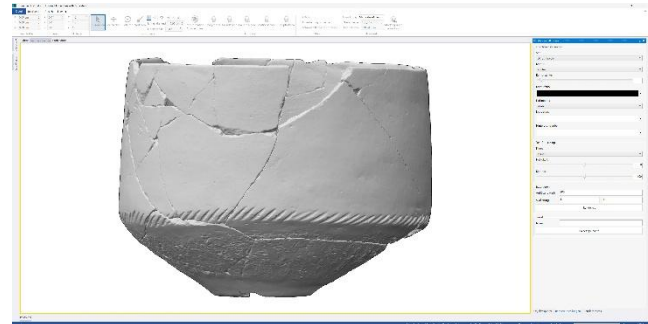
Mit wenigen intuitiven Arbeitsschritten können 3D-Modelle, insbesondere von archäologischen Funden, ausgerichtet und ausgewertet werden (Abb. 2). Mit teilautomatisierten Funktionen werden ein oder mehrere 3D-Modelle im Raum orientiert und vermessen. Neben den üblichen Werten wie Höhe, Breite und Tiefe oder Volumen, werden auch Größenverhältnisse bestimmt, die wichtige Kriterien für die Klassifizierung von Gefäßformen darstellen.



**Abbildung 2** Ein bronzezeitliches Gefäß aus 6 Scherben wird in TroveSketch 2 ausgerichtet und rekonstruiert.

Nach wie vor ist die zweidimensionale Grafik der Standard in archäologischen Publikationen. Traditionell wurden diese von technischen Zeichnern in aufwendiger Handarbeit erstellt. TroveSketch bietet einen leistungsfähigen Renderer, der verschiedene Shader zur Verfügung stellt um standardisierte, maßstäbliche und damit direkt publikationsreife Grafiken mit wenigen Mausclicks zu exportieren (Abb. 3). Vervollständigt wird die

Funddokumentation mit einem Profileditor, mit dem an beliebigen Positionen Schnittebenen erzeugt und die Schnitte als Kurven extrahiert werden. Die Vektordaten können in allen Grafikprogrammen weiterverarbeitet werden.



**Abbildung 3** Der Renderer in TroveSketch 2 bietet verschiedene 3D-Shader für den standardisierten Export.

Zurzeit wird TroveSketch modernisiert um in aktuellen MS Windows-Umgebungen und mit moderner Hardware lauffähig zu bleiben. Die Anwendung hat im LfA einen In-House-Standard gesetzt und wird auch in anderen Einrichtungen genutzt.

## 2 Anwendungsbeispiele

### 2.1 Automatisierte Klassifikation

Mit Beginn der Massendigitalisierung 2006 wurde sich damit auseinandersetzt wie die aufwendige Arbeit der archäologischen Gefäßklassifikation mit 3D-Daten unterstützt werden kann. Von 2007 bis 2009 wurde dies im DFG-geförderten Projekt „Automatisierte Klassifikation bronzezeitlicher Gefäßkeramik“ untersucht und diskutiert. In dem Projekt wurden über 2000 Gefäße des bronzezeitlichen Gräberfeldes Kötitz (Coswig/Sachsen) gescannt und mit TroveSketch dokumentiert. Die exportierten Metadaten stellten die Datenbasis u.a. für das Training von neuronalen Netzen dar. Bereits zu diesem Zeitpunkt zeigten sich identische Fragen und Probleme, die in der derzeitigen Diskussion um KI nach wie vor anzutreffen sind. Es wurden große Mengen an hochwertigen 3D-Daten benötigt, die teils vollautomatisiert aber auch manuell unterstützt für das Training verwendet wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass neuronale Netze das Potential haben die Klassifikation archäologischer Formen erheblich zu unterstützen (Hörr et al. 2011). Ein breiter Einsatz konnte jedoch nicht umgesetzt werden, weil die Gewinnung einer ausreichend hohen Anzahl weiterer 3D-Trainingsdaten für

andere Zeitstellungen mit großem Aufwand verbunden war und nach wie vor ist.

## 2.2 Organik und Restaurierung

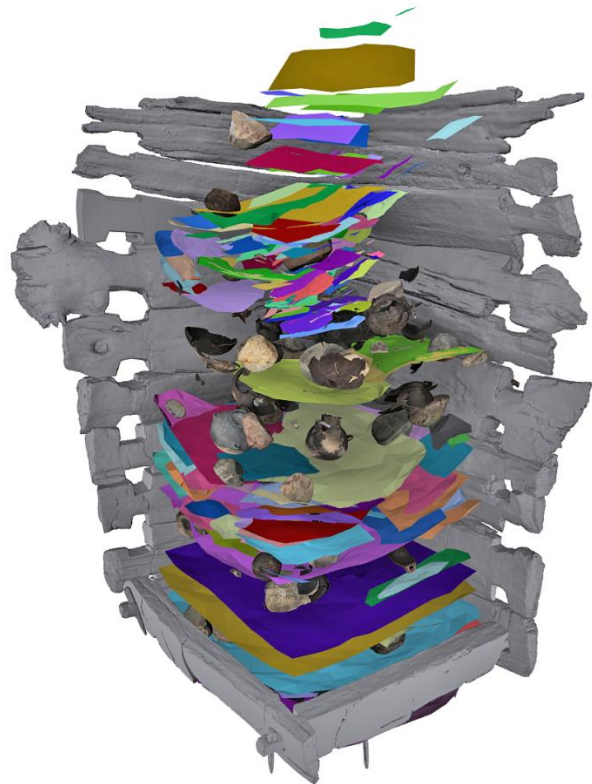
Neben der 3D-Dokumentation von Keramik, zeigten sich schnell die Vorteile der 3D-Scanner im Bereich der Nassholzkonservierung und der virtuellen Rekonstruktion komplexer Befunde. Die geborgenen Hölzer müssen stets nass gehalten werden. Bei Austrocknung setzen umgehend unwiderrufliche Prozesse der Zersetzung ein, z. B. das Aufreißen bzw. der Abbau der Zellstruktur. Damit zeigt sich, dass es nach Möglichkeit schnelle Verfahren zur Dokumentation benötigt um die Hölzer nur kurze Zeit der Luft auszusetzen. Im Rahmen verschiedener Projekte wurden Abläufe zwischen Grabungsteam, 3D-Labor und Restaurierung etabliert, um effizient aber hochgenau die empfindlichen Hölzer dreidimensional dokumentieren zu können.

### 2.2.1 Der neolithische Brunnen von Altscherbitz

Bei dem Ausbau des Leipziger Flughafens zum Frachtdrehkreuz wurde auf dem Baufeld u. a. eine hölzerne Brunnenkonstruktion entdeckt, die mittels der Dendrochronologie in die Jungsteinzeit (~ 5100 v. Ch.) datiert wurde. Der Brunnen wurde eingeschalt, als Block geborgen und mit einem Schwertransport nach Dresden transportiert. Dort wurde der Befund von 2008 bis 2010 unter kontrollierten Bedingungen ausgegraben (Elburg 2010).

Von Anfang an bestand der Wunsch die damals noch neue Technik der Nahbereichsscanner zu nutzen um die Konstruktion virtuell zu rekonstruieren. Die bis zu 2 m langen, massiven Spaltbohlen aus Eiche wurden mit farbigen Stecknadeln bestückt und mittels Tachymeter eingemessen. Nach der darauffolgenden Bergung folgte eine Reinigung der Oberflächen durch die Restaurierung und direkt im Anschluss der 3D-Scan mit dem Minolta-3D-Scanner.

Damit ist ein derartiger Brunnenbefund erstmals dreidimensional auf Objektebene, d. h. jedes Holz einzeln, sowie auch auf Befundebene umfassend dokumentiert. Weitere 150 Funde aus der Füllung wurden gescannt und lagerichtig in die Rekonstruktion eingefügt. Damit konnten sowohl Nutzungszeiträume und Verfüllprozesse rekonstruiert werden als auch Rückschlüsse auf die Fähigkeiten der Holzbearbeitung in der Jungsteinzeit in Sachsen gezogen werden (Tegel et al. 2012).



**Abbildung 4** Die virtuelle Rekonstruktion des Brunnen von Altscherbitz als Schnittmodell, mit Funden und stratigrafischen Daten.

### 2.2.2 Schwierigste Bedingungen – Der mittelalterliche Altbergbau

Aufbauend auf den Erfahrungen und erarbeiteten Handlungsabläufen stellte die 3D-Funddokumentation ab 2012 einen wichtigen Arbeitsschritt dar, um mittels Funden und Befunden im Rahmen mehrerer EU-geförderter Forschungsprojekte, gemeinsam mit internationalen Partnern, den Bergbau des Mittelalters im Erzgebirge zu untersuchen (<https://archaeomontan.eu>).

Die Bedingungen in den Bergwerken unterschieden sich grundlegend von der Dokumentation unter Laborbedingungen. Sehr enge Stollen, Wasser und Schmutz stellten schnell klar, dass hier kein Streifenlichtscanner eingesetzt werden kann. Neben Structure-from-Motion kam vor Ort der mobile Handscanner ARTEC EVA zum Einsatz. Damit konnten umfassend Stollen, Einbauten und Bearbeitungsspuren dokumentiert werden (Göttlich et al., 2013).

Aufgrund der aufkommenden Fundmassen mussten die Arbeitsabläufe verändert werden, so dass über 2.000 Funde dennoch effizient und genau erfasst werden konnte. Neben der Dokumentation in situ wurden alle Hölzer nach Reinigung im LfA mit dem zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Streifenlichtscanner Breuckmann Smartscan R5 gescannt. Während sich die Hölzer in der Konservierung befanden, konnte die Grabungsauswertung anhand der 3D-Modelle fortgesetzt werden.

Darüber hinaus bilden die Daten die Grundlage um die Qualität des Konservierungsprozesses bewerten zu können. Nach dem Prozess der Tränkung und der Trocknung in der Gefriertrocknungsanlage werden stichprobenartig weitere 3D-Scans durchgeführt um Veränderungen des Volumens sowie auch Deformationen untersuchen zu können (Schmidt-Reimann et al. 2015).

Derzeit werden die Wiederholungsmessungen wieder aufgenommen um weitere Daten zu sammeln und um zukünftig nach Holz- und Bearbeitungsart bzw. Abbaugrad Vorhersagen zum Konservierungsprozess machen zu können.

## 2.3 Kleinfunde

Gefäße aus Keramik, Hölzer oder Werkzeuge aus Stein und Metall sind ein Teil des gesamten Aufkommens von Funden, für die 3D-Daten benötigt werden. Münzen und Schmuckstücke stellen Objektgruppen dar, bei denen die Anforderungen darin bestehen, dass die Größe im Zentimeterbereich oder kleiner liegt und die Oberflächen häufig stark glänzend sind.

Die Bestimmung erfolgt in der Regel anhand der Münzprägung. Eine schlechte Erhaltung kann jedoch die visuelle Identifizierung erheblich erschweren und ggf. auch unmöglich machen. Hochauflösende 3D-Daten können die Lösung sein, vor allem wenn man die Daten ohne Farbinformationen betrachtet. Im Allgemeinen überdeckt die Objektfarbe wichtige Oberflächendetails, wobei dies unabhängig der Objektgröße ist und bei allen Objekt- und Materialgruppen so zu sehen ist.

Das EU-geförderte Projekt „1000 Jahre Oberlausitz“ (<https://www.1000lusatia.de/>) beschäftigte sich u.a. mit dem hochmittelalterlichen Hacksilberschatz von Cortnitz aus Ostsachsen. Dieser Fund beinhaltet über 1000 Münzen und Schmuckstücke, die teilweise zerteilt sind. Die Münzen wurden zerteilt um kleine Zahlungsbeträge begleichen zu können, vergleichbar zu dem heute üblichen Kleingeld. Im Rahmen des Projektes wurden nahezu alle Objekte gescannt und zusätzlich mit Makrofotos texturiert. Dieser Arbeitsschritt wurde gewählt, weil die Auflösung der

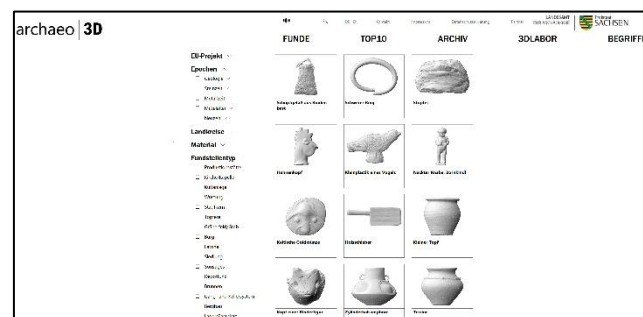
externen Fotos erheblich besser ist als die des AICON Smartscans. Im Ergebnis liegt nun erstmals der gesamte Silberschatz in einer einheitlichen Datenqualität vor.

Neben der Analyse und Detektion von Prägungen ist es auch möglich, Merkmale der Prägungen teilautomatisiert klassifizieren zu lassen um eine Chronologie aufstellen zu können. 2015 beteiligte sich das LfA mit einer Bewerbung im Rahmen des Breuckmann Award. In der Studie sollte untersucht werden, ob es möglich ist, Abnutzungerscheinungen römischer Münzstempel mithilfe von 3D-Daten zu detektieren und so ein Bewegungsprofil des Feldherren Varus aufzustellen. Im römischen Reich war es üblich Münzen mit einem Gegenstempel der eigenen Initialen zu versehen. In der Fallstudie sollte es sich um die Münzen mit dem Gegenstempel „VAR“ handeln (Tolksdorf et al., 2017). Die Fallstudie zeigte, dass es möglich ist wenn hochauflösende 3D-Daten vorhanden sind. Auf Grund der geringen Stichprobenanzahl von nur 37 Münzen kann dies jedoch nur als Prototyp verstanden werden und es wäre wünschenswert, wenn in der Numismatik der Ansatz mit einer deutlich größeren Datenmenge wiederholt werden könnte.

## 3 Wissensvermittlung

### 3.1 Im Internet: Archaeo|3D und Archaeo|SN

Seit dem Einstieg in die massenhafte 3D-Dokumentation von Funden 2006 gab es den Wunsch, die Daten auch nach außen hin für die Wissensvermittlung zu nutzen. Aber erst 2020 konnte das LfA-eigene Internetportal Archaeo|3D (<https://archaeo3d.de/>) online gehen. Das Layout wurde im Rahmen einer Semesterarbeit des Studiengangs Design der FH Dresden entwickelt (Kim et al., 2018).



**Abbildung 5** Archaeo|3D. Über Filter und Kartendarstellungen können derzeit etwa 800 Funde durchsucht und in 3D betrachtet werden.

Ziel war es, eine Publikationsplattform bereitzustellen um Erkenntnisse der Öffentlichkeit zu präsentieren. Neben

den Objekten können sich die Besucher auch über die 3D-Scanner und deren Nutzung im LfA informieren (Innerhofer et al., 2024).

Die konsequent responsive Programmierung ermöglicht es sowohl von mobilen als auch von Desktopgeräten die Inhalte zu durchsuchen. Die präsentierten 3D-Modelle werden mit Hilfe von Nexus3D visualisiert. Mit dem streamingfähigen Format können auch sehr große 3D-Modelle stark komprimiert und flüssig dargestellt werden. In den hauseigenen Publikationen werden QR-Codes eingesetzt um Fachartikel mit dem erweiterten Informationsgehalt der 3D-Modelle anzureichern. Alle Objektseiten sind als Permanentlinks zu sehen, so dass die Modelle in Veröffentlichungen als Zitate eingebunden werden können (Coburger et al. 2020).

Das Gegenstück zum objektbezogenen Archaeo|3D stellt die Partnerseite Archaeo|SN (<https://archaeo-sn.de/>) dar. Hier werden ausgewählte Bodendenkmäler vorgestellt. Durch die beidseitige Verlinkung zwischen Objekten und dazugehörigen Fundstellen, kann sich ein kurzer Überblick über wichtige Bodendenkmäler in Sachsen verschafft werden. Darüber hinaus ist es möglich sich den Standort der jeweiligen Funde im Landesmuseum für Archäologie Chemnitz (smac) über Links zum 360°-Rundgang (<https://www.360.de/smac/>) anzusehen um vielleicht beim nächsten Besuch Exponate gezielt im Museum zu betrachten.

### 3.2 Museum und Ausstellungen

Für den Ausstellungsbetrieb stellen 3D-Daten eine wichtige Komponente dar. Neben einfachen Rekonstruktionen und Animationen, werden in Ausstellungen Inhalte von Archaeo|3D direkt auf interaktiven Medienstationen eingebunden. Diese Lösung wurde auch in kleineren Regionalmuseen genutzt, um dort eine gezielte Auswahl von Funden dreidimensional den Besuchern präsentieren zu können. Ein großer Vorteil ist es, dass nur eine geeignete Medienstation benötigt wird auf der browsergestützt Archaeo|3D läuft. Mithilfe eines Kioskmodus wird das „Ausbrechen“ auf die Systemebene unterbunden. Mit der Offline-Version kann auch auf eine permanente Internetverbindung verzichtet werden.

Das Thema 3D-Druck hat sich erheblich weiterentwickelt und wird an verschiedenen Stellen im Museum genutzt. Neben Repliken, die das Original ersetzen, weil dieses nicht ausstellbar ist, sind 3D-Drucke nunmehr ein wichtiger Bestandteil um Tastmodelle herzustellen und sehbehinderten Besuchern Inhalte zu vermitteln. Darüber hinaus werden anhand von Objektscans Montagehilfen entworfen und hergestellt. Aber auch im Bereich des Merchandisings werden 3D-Drucke genutzt.

### 3.3 Ausbildung und Lehre

Das LfA unterhält seit Einführung der 3D-Scanner gute Verbindungen zu den Hochschulen in Sachsen, insbesondere der HTW Dresden, an der in einer Diplomarbeit der Grundstein für den jetzigen Stand des 3D-Labors gelegt wurde (Kießling, 2006).

Neben zahlreichen Abschlussarbeiten, bietet das LfA regelmäßig Studenten die Möglichkeit ein Betriebspraktikum im 3D-Labor zu absolvieren und den Umgang mit den verschiedenen 3D-Scannern und 3D-Programmen sowie deren Anwendung im archäologischen Kontext zu erlernen. Exkursionen in das LfA sowie auch Gastbeiträge im Rahmen von Lehrveranstaltungen vermitteln einen Einblick über die Nutzung moderner 3D-Messtechnik über die übliche Nutzung in der Industrie.

### 4 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von 3D-Scannern im Nahbereich den Bereich der Funddokumentation erheblich unterstützt. Nicht unterschlagen werden darf, dass dieser Weg mit hohen Investitions- und Unterhaltskosten verbunden ist. Darüber hinaus spielt ausgebildetes Fachpersonal eine wichtige Rolle um das Potential der Geräte voll auszuschöpfen und Abläufe weiterzuentwickeln.

Neben der regelmäßigen Geräte- und Softwarewartung, muss für entsprechende, leistungsfähige Workstations gesorgt werden. Insbesondere mit den hochauflösenden Streifenlichtscannern HEXAGON Smartscan R8 und Stereoscan neo R16 fallen große Datenmengen an, die zügig verarbeitet werden müssen. In den 20 Jahren beläuft sich die gesamte Datenmenge des 3D-Labors im LfA auf etwa 30 TB. Darin enthalten sind alle Rohdaten, prozessierte 3D-Modelle als auch deren Versionen, sowie weiterverarbeitete Daten wie z. B. Renderprojekte usw. Hier zeigt es sich, dass auch die hauseigene IT für den dauerhaften Einsatz solcher Scanner ausgelegt und geplant werden muss.

Derzeit ist es möglich alle vorhandenen, proprietären Rohdaten zu öffnen und verarbeiten zu können. Es ist jedoch klar, dass dies in Zukunft nicht mehr der Fall sein wird, sobald die dazugehörige Auswertesoftware nicht mehr lauffähig gehalten werden kann. Die 3D-Modelle werden in den gut dokumentierten, offenen Formaten PLY und OBJ gespeichert. Diese Formate sind jedoch nicht archivfähig, so dass wahrscheinlich in Zukunft das Format glTF genutzt werden wird.

Archäologische Funde umfassen ein großes Spektrum an Größen und Materialien. Die resultierende Qualität der 3D-Daten ist maßgeblich von den Oberflächeneigenschaften des

Fundes abhängig. Ein großes Thema sind dabei reflektierende Oberflächen wie sie bei Metall und auch Nasshölzern auftreten. Im Ergebnis erhält man stets Daten in denen ein starkes Rauschen auftritt. Üblicherweise würden diese unkooperativen Oberflächen mit einem geeigneten Mattierungsspray behandelt werden (Reuter et al., 2020). Die Nutzung der Sprays ist jedoch aus restauratorischen Gründen untersagt, so dass zum einen die Bearbeitung der Scans aufwendiger wird und zum anderen ein Verlust an Auflösung und Detailwiedergabe akzeptiert werden muss.

Vergleichbar dazu ist das Problem instabiler Geometrie. Dies ist vor allem bei schlecht erhaltenen Nasshölzern zutreffend, d. h. die Hölzer verformen sich unter dem Eigengewicht, so dass Ober- und Unterseite nur schlecht registriert werden können. Nach umfangreicher Diskussion wurde sich im LfA auf eine Vorgehensweise geeinigt, bei der vollständige 3D-Modelle am Ende stehen. Die Scans der Oberseite werden als stabil angesehen, während die Daten der gedrehten Rückseite beschnitten und stückweise an die Oberseite registriert werden. Es ist einzusehen, dass dies einen massiven Eingriff in die Messdaten darstellt, jedoch die einzige Möglichkeit ist, die Funde überhaupt dokumentieren zu können. Häufig sind diese schlecht erhaltenen Hölzer nicht konservierungswürdig und werden beprobt, d. h. zerstört.

Im Gegensatz zu Anwendungen im Industriesektor müssen bei der Dokumentation von einigen archäologischen Fundgruppen Zugeständnisse an Genauigkeit und Qualität gemacht werden. Der Mehrwert, den die hochauflösenden Daten bieten, wiegt dabei die Kompromisse jedoch auf.

## 5 Fazit & Ausblick

Die systematische Einführung industrieller Messsysteme hat die Möglichkeiten der archäologischen Dokumentation im LfA Sachsen erheblich erweitert. Vor allem die Verstetigung aus dem Projektstatus heraus in einen festen Fachbereich gewährleistet Kontinuität und letztlich den Erhalt des technischen Fachwissens. Es ist einzusehen, dass die Anschaffung mehrerer moderner 3D-Scanner und der dauerhafte Betrieb der Scanner-Arbeitsplätze erhebliche finanzielle Mittel erfordern. Die hohe, gleichbleibende Qualität und Effizienz generiert jedoch hochwertige Daten, die auf zahlreichen Wegen die wissenschaftliche Bearbeitung und Wissensvermittlung unterstützen. So liegen Daten vor, die erstmals nicht von den Fähigkeiten technischer Zeichner abhängig sind, sondern vergleichbar sind. Mit TroveSketch steht ein Werkzeug zur Verfügung, dass es intuitiv ermöglicht zügig 3D-Modelle hinsichtlich

archäologischer Richtlinien zu orientieren und publikationsreife Grafiken zu exportieren und damit die LfA-eigene Redaktion zu entlasten.

Bereits das DFG-Projekt zur automatisierten Klassifikation zeigte das Potential auf, das in neuronalen Netzen für die wissenschaftliche Bearbeitung von Fundmassen steckt. Es stellte sich heraus, dass die Qualität der zu Grunde liegenden Trainingsdaten von hoher Bedeutung ist. Auch wenn derzeit kein Einsatz von KI zur 3D-Fundbearbeitung im LfA stattfindet, stellen die vorhandenen 3D-Daten eine verlässliche Grundlage dar.

Bei der Ausgrabung des neolithischen Brunnens von Altscherbitz 2008 – 2010 wurden effiziente Arbeitsabläufe entwickelt, um große, wassergesättigte Hölzer innerhalb kurzer Zeit zu bergen, zu reinigen und genau zu digitalisieren. Diese Erfahrungen wurden im Rahmen der EU-geförderten Projekte zum mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge optimiert, um die Fundmassen von mehreren tausend zu scannenden Holzobjekten bewältigen zu können. Mit ihrer sehr hohen Auflösung haben die Streifenlichtscanner die Einsatzmöglichkeiten sowohl im archäologischen als auch im konservatorischen Kontext weiterentwickelt, z. B. bei der Erkennung von Abnutzungsspuren und der Überwachung empfindlicher und sich verändernder Fundklassen.

Moderne Webtechnologien sowie VR/AR-Anwendungen machen die gewonnenen Informationen und Erkenntnisse der Öffentlichkeit zugänglich und können den Wissenstransfer erheblich unterstützen. Die Internetseiten Archaeo3D und ArchaeoSN haben sich zu Publikationsplattformen mit großer Reichweite entwickelt. Die Verlinkung in traditionellen, gedruckten Veröffentlichungen zu Archaeo3D, unterstützen die Beschreibung archäologischer Erkenntnisse in großem Maße. Insbesondere die Verknüpfung mit dem smac stellte während der durch die Corona-Pandemie geschlossenen Museen, das Schaufenster in die Archäologie Sachsens dar. Es ist geplant Archaeo3D auch mit überregionalen Inhalten anzureichern.

Die Verwaltung der Datenmengen und letztlich die Lesbarkeit der proprietären Rohdaten stellen eine große Herausforderung für die Zukunft dar. Die Messdaten der 3D-Scanner von HEXAGON, ARTEC und Konica Minolta unterscheiden sich in Struktur und Formaten völlig voneinander. Um diese Daten so lange wie möglich lesbar zu halten, müssen geeignete Lösungen und Verfahren entwickelt werden, denn die Erfahrung zeigt, dass auch nach mehr als 10 Jahren neue Fragestellungen zu einer Nachfrage nach den alten Rohdaten führen können. Durch die

konsequente Verwendung offener Datenformate (PLY, OBJ) ist es möglich, alle 3D-Modelle der letzten 15 Jahre ohne Einschränkungen zu verarbeiten.

HEXAGON wird in 2026 den Vertrieb, die Entwicklung und den Support der Streifenlichtscanner weitgehend einstellen. Die Instrumente sind robust und werden sicherlich noch lange Zeit funktionsfähig sein. Das schwerwiegendste Problem stellt dabei die dazugehörige Steuerungssoftware OptoCat dar, die weiterhin lauffähig gehalten werden muss.

## Literaturverzeichnis

- Coburger, C., Innerhofer, F. & Reuter, T. (2020). archaeo|3D – eine innovative Plattform zur Präsentation archäologischer Fundobjekte im Internet. *Ausgrabungen in Sachsen 7. Arbeits- u. Forschungsberichte sächsische Bodendenkmalpflege Beiheft 34*, 2020, 383–392.
- Elburg, R. (2010). Der bandkeramische Brunnen von Altscherbitz – Eine Kurzbiografie. *Ausgrabungen in Sachsen 2. Arbeits- u. Forschungsberichte sächsische Bodendenkmalpflege Beiheft 2*, 2010, 231–234.
- Göttlich, F. & Reuter, T. (2013). Methoden der grabungsbegleitenden 3D-Dokumentation im Altbergbau. *ArchaeoMontan 2012. Erkunden – Erfassen – Erforschen. Arbeits- u. Forschungsberichte sächsische Bodendenkmalpflege Beiheft 26*, 2013, 209–223.
- Hörr, C., Lindinger, E. & Brunnett, G. (2011). New Paradigms for Automated Classification of Pottery. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 36<sup>th</sup> International Conference*, 2011, 268–277.
- Innerhofer, F. & Lindinger, E. (2010). Die Funddokumentation – Von der Bleistiftskizze zum 3D-Scan. *Ausgrabungen in Sachsen 2. Arbeits- u. Forschungsberichte sächsische Bodendenkmalpflege Beiheft 2*, 2010, 179–183.
- Innerhofer, F., Coburger, C. & Reuter, T. (2024). More Than Just Documenting the Past: 15 Years of 3D Scanning at the Archaeological Heritage Office of Saxony. *The 3 Dimensions of Digitalised Archaeology*, 2024, 27–26. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-53032-6>
- Kießling, H. (2006). 3D-Datenerfassung archäologischer Funde mit dem Laserscanner Konica Minolta VI-910 und Test der darauf aufbauenden Auswertesoftware. Ungedr. Diplomarbeit Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Vermessungswesen/Kartografie, 2006.
- Kim, H., Matthes, P. & Wahlter, C. (2018). archaeo | 3D. Website für das Landesamt für Archäologie. Ungedr. Seminararbeit Fachhochschule Dresden, 2018.
- Lindinger, E. & Hörr, C. (2008). Ein neu entwickeltes 3D-Scanverfahren für archäologische Objekte. *Ausgrabungen in Sachsen 2. Arbeits- u. Forschungsberichte sächsische Bodendenkmalpflege 48/49*, 2008, 9–18.
- Reuter, T., Böttcher, K. & Burghardt, M. (2020). Untersuchungen zu Mattierungsmitteln für die 3D-Digitalisierung von archäologischen Kleinfunden mit optisch schwierigen Oberflächeneigenschaften. *Photogrammetrie Laserscanning Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2020*, 2020, 277–287.
- Schmidt-Reimann, P. & Reuter, T. (2015). Conservation and 3D-Documentation of Waterlogged Wood from Medieval Mining. *Condition.2015 – Conservation and Digitalization. Conference Proceedings*, 2015, 125–130.
- Tegel, W., Elburg, R., Hakelberg, D., Stäuble, H. & Büntgen, U. (2012). Early Neolithic Water Wells Reveal the World's Oldest Wood Architecture. *PLoS One* 7, 2012, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051374>
- Tolksdorf, J.-F., Elburg, R. & Reuter, T. (2017). Can 3D Scanning of Countermarks on Roman Coins Help to Reconstruct the Movement of Varus and his Legions? *Journal of Archeological Science. Reports* 11, 2017, 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.005>