

Literatur

Gustav Griese (Hrsg.), Burgen und Schlösser in Gelsenkirchen (Gelsenkirchen 1960). – **Helmut Weigel**, Adeliges Landleben auf Haus Berge und seine wirtschaftlichen

Grundlagen in der Neuzeit (1521 bis 1900). Beiträge zur Stadtgeschichte des Vereins für Orts- und Heimatkunde Gelsenkirchen-Buer X, 1980, 157–218.

3-D-Scans

Voxel versus STL – die Aussagekraft von 3-D-Scans archäologischer Objekte

Kreisfreie Stadt Gelsenkirchen, Regierungsbezirk Münster

Andreas Weisgerber

»Voxel« und »STL« bringt man nicht primär mit der Archäologie in Verbindung. Dabei stehen diese zwei Begriffe für die beiden gängigsten Methoden, um Objekte digital und dreidimensional zu erfassen. Im Rahmen von aktuellen Prospektionen haben sie längst Einzug in die Archäologie gehalten, werden inzwischen doch selbst Bodenoberflächen und deren Strukturen digital erfasst und ausgewertet. Da die Wahl des Verfahrens unmittelbar von der Fragestellung abhängt, sollen im Folgenden die beiden grundlegenden Verfahren vorgestellt und die Nutzbarkeit dieser Technologien in der Archäologie und für deren Objekte untersucht werden. Objektbezogene Scans wurden bereits in der vergangenen Landesausstellung »Fundgeschichten. Neueste Entdeckungen von Archäologen in NRW« in Köln und Herne (s. Beitrag S. 254) der Öffentlichkeit präsentiert, wo 3-D-Scans einer Schwertscheide aus Bad Wünnenberg als Videoclip zu sehen waren.

Die der Auswertung dienende Dokumentation archäologischer Fundobjekte und Befunde war in der Vergangenheit meist zweidimensional. Hier seien stellvertretend Zeichnungen, Fotos und Röntgenbilder genannt. Natürlich kann man mit gezeichneten Plänen dreidimensionale Sachverhalte darstellen. Eine schnelle dreidimensionale Erfassung von Objekten ist aber erst seit einigen Jahren möglich. Anfänge hierzu liegen sicherlich in der Stereofotografie, die es schon zu Zeiten der Daguerreotypie in der Mitte des 19. Jahrhunderts gab. Eine direkte messtechnische Erfassung von Objekten wurde jedoch erst mit dem Aufkommen digitaler Datenverarbeitung praktikabel. Als frühes Beispiel computergestützter Bildauswertungen in der Archäologie mag die Rekonstruktion des Aton-Tempels in Karnak aus dem



Jahre 1965 mit einem IBM-Lochkartencomputer, durchgeführt von Ray Winfield Smith, gelten. Damals wurden mehr als 40.000 oberflächlich bearbeitete Steine des Tempels der Nofretete und des Echnaton fotografisch erfasst und elektronisch ausgewertet.

In der Gegenwart stützt sich die digitale Erfassung von dreidimensionalen Objekten meist auf zwei unterschiedliche Systeme. Hier sei als erstes das STL-Format (Surface Tessellation Language = Beschreibung der Oberfläche durch Dreiecke) genannt, das nur die Oberfläche erfasst. STL beschreibt dabei die Oberflächen des darzustellenden Objektes mithilfe von Dreiecken, ist also ein Triangulationsverfahren. Jede Dreiecksfacette wird durch die drei Eckpunkte und die zugehörige Flächennormale des Dreiecks charakterisiert und gekrümmte Oberflächen werden durch Annäherung dargestellt. Gewonnen wird solch ein Datensatz normaler-

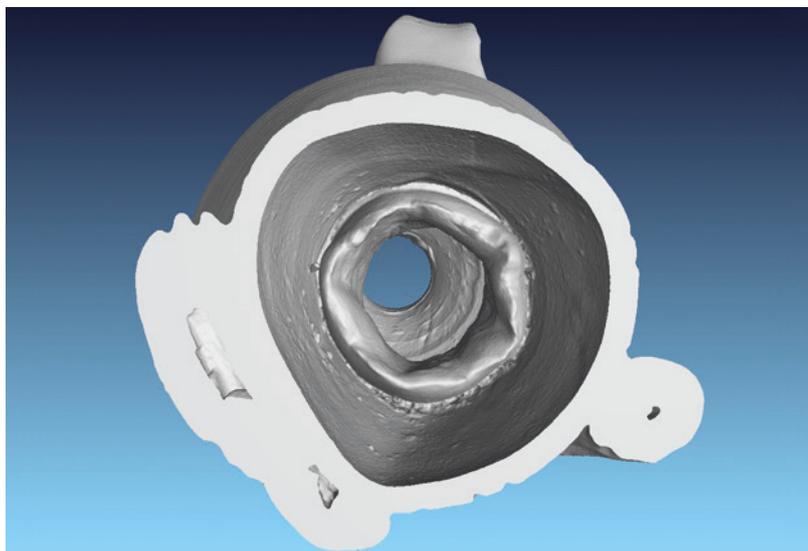
Abb. 1 Die monochrome Oberfläche des Bechers in einem CT-Scan. Deutlicher als in farbigen Abbildungen ist die Zuschwemmung der Oberfläche durch die Salzglasur zu erkennen (Foto: CTM-do GmbH, Dortmund).

weise über einen Streiflicht- oder Laserscan. Inzwischen werden sogar texturierte 3-D-Modelle, basierend auf digitalen Fotos, erstellt. Diese STL-Datensätze können direkt in einem CAD-Programm (Computer-aided Design = rechnerunterstützte Konstruktion) weiterverarbeitet werden. Das abgebildete Objekt ist dreidimensional und kann vermessen, gedreht, vergrößert, verkleinert und direkt an klassischen CAD-Fertigungsmaschinen im Holz- oder Metallbereich oder an 3-D-Prototypinggeräten reproduziert werden.

Abb. 2 Auch wenn diese Abbildung nur zweidimensional wie ein Röntgenbild ist, ist sie die Zusammenschau einer sehr großen Menge von Bildern, wie sie im 3-D-Scan entstehen, und zeigt deutlich die Art und Weise, wie der Kopf modelliert und der Torso auf den halben Trichterbecher gestülpt wurde (Foto: CTM-do GmbH, Dortmund).



Abb. 3 Hier ist ein Schnitt durch den Torso in Richtung des Trichterhalses gewählt. Deutlich sieht man den handgeformten Wulst, der den Trichterbecher und den Torso des Herrn von Horst verbindet (Foto: CTM-do GmbH, Dortmund).



Einen ganz anderen Ansatz bietet das zweite Verfahren, die Computertomografie (CT), die im humanmedizinischen Bereich entwickelt wurde.

In der Vergangenheit wurden für Röntgenuntersuchungen Filme belichtet, mit dem Wechsel vom Film zum digitalen Bild wurde die Computertomografie erst möglich. Es handelt sich um eine Art Schichtaufnahmeverfahren. Die Abbildungen werden digital in Pixeln dargestellt. Wird das zu untersuchende Objekt im Röntgenstrahl z. B. um jeweils ein Bogengrad weitergedreht und zu jedem Grad ein Bild angefertigt, so ist man mithilfe eines Rechners in der Lage, die zweidimensionalen Bilder zu einem dreidimensionalen Objekt zusammenzufügen. Die hierbei entstehenden Datenpunkte heißen Voxel, was ein aus Volumetric und Pixel zusammengesetzter Begriff ist. Hat man solch einen Voxeldatensatz zu einem Objekt, ist nicht nur dessen Oberfläche sichtbar, sondern man kann beliebige, virtuelle Schnitte durch das Objekt legen und sieht dessen Inneres. Es ist also möglich Strukturen und Zusammenhänge zu sehen, die in zweidimensionalen Röntgenaufnahmen aufgrund der ihnen typischen Überlagerungen nicht zu erkennen sind. Einen bestehenden Voxeldatensatz kann man in das STL-Format umwandeln, umgekehrt jedoch nicht, da ja nur die Oberfläche erfasst wurde.

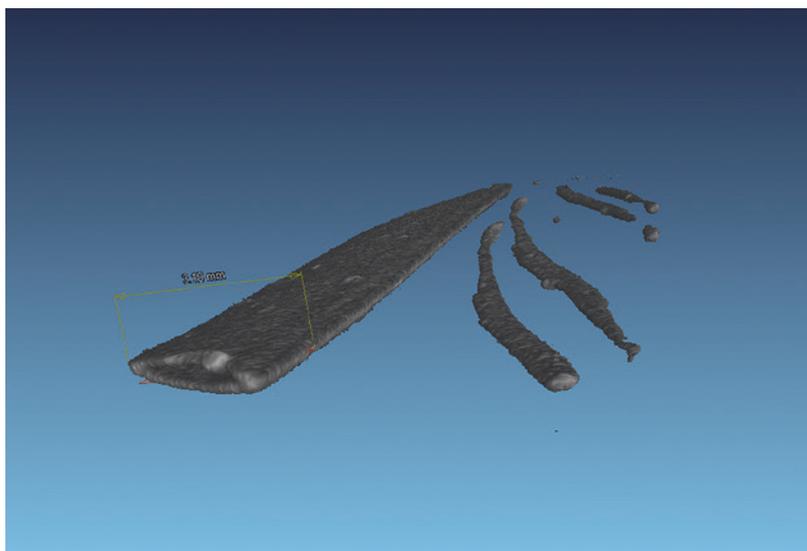
Seit es diese Verfahren gibt, wurden sie auch in der archäologischen Forschung eingesetzt. Besonders beeindruckend ist die Möglichkeit mit einem CT-Scan dendrochronologische Datierungen, wie sie an der Hochschule Aalen durchgeführt werden, vornehmen zu können. In den letzten Jahren wurden mehrfach STL-Scans von bedeutenden Funden gemacht, um Repliken anzufertigen. Die Ergebnisse waren in der Oberfläche oft leicht gestuft, die Auflösung der Scans ist heute höher und die Stufen entsprechend kleiner. Ein wesentliches Motiv bei solchen Vorhaben ist das berührungslose Erfassen der Objekt Oberfläche. Einem Vergleich mit Oberflächen nach Abformungen mit einer klassischen Silikonform hält keine der Reproduktionen mit STL-Scans stand. Mit Silikonformen können sogar Schallplatten abgeformt und reproduziert werden, es ist aber ein direkter Kontakt der Negativformmasse mit dem Original notwendig.

Reproduktionen sind vielseitig verwendbar und aus dem Museumsalltag nicht mehr wegzudenken. So verfügt das LWL-Museum für Archäologie in Herne über eine durchsichtige

3-D-Replik des Schädeldaches eines Neanderalers, das in Warendorf gefunden wurde. Das Original ist in der Dauerausstellung zu sehen und die Replik ist für Forschungszwecke verfügbar. Eine andere Anwendungsmöglichkeit ist das Erstellen von Trägereinheiten für fragile Objekte. Fehlstellen könnten mit einem CAD-Programm angeglichen und ergänzt werden. Streiflichtscanner sind inzwischen recht benutzerfreundlich und können mit handelsüblichen Laptops bedient werden. Das Erstellen von STL-Datensätzen für ein Objekt ist inzwischen mit Standardhardware möglich. Die Produktion von Positiven erfordert jedoch teure Fertigungsmaschinen, dafür ist die Höhe der Auflage beliebig, da es keinen Verschleiß der Form gibt. Es können sogar farbige Objekte im 3-D-Prototyping erstellt werden. Der Farbverlauf dieser Objekte ist jedoch immer sehr weich, da die Farbtuschen flüssig sind und sich im Trägermaterial vermischen. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit wären Geländemodelle, die nach einem im Globalmapper erstellten Profil gefertigt werden könnten.

Werden Objekte im CT untersucht, ergeben sich fast zwangsläufig Einblicke in die Art und Weise der Herstellung des jeweiligen Objektes. Beispielhaft sei hier ein Sturzbecher in Form eines Mannes in spanischer Hoftracht aus Gelsenkirchen Horst (zweite Hälfte 16. Jahrhundert) gezeigt. Die hier abgebildeten Scanergebnisse sind natürlich durch die gezwungenermaßen zweidimensionale Darstellung auf Papier eingeschränkt, vermitteln aber trotzdem einen Eindruck von der Vielseitigkeit der Auswertungsmöglichkeiten (Abb. 1–3). Im Voxeldatensatz kann man mit der »Kamera« durch das Objekt fliegen und interessante Bereiche vergrößern. Die Bilder sind 2009 bei der CTM-do GmbH in Dortmund entstanden. CTM-do ist ursprünglich in der Materialprüfung tätig, weshalb die dort genutzte Anlage in ihrer Leistungsfähigkeit deutlich über dem liegt, was humanmedizinische Geräte erreichen können. Bis auf Edelmetalle lassen sich alle Materialgruppen mit dieser Anlage untersuchen.

Aus der gleichen Grabung in Gelsenkirchen stammt auch das untersuchte Fragment eines Glasbechers, der sehr aufwendig in venezianischer Art hergestellt wurde (Abb. 4). In der Abbildung 5 sind die Grauwerte so eingestellt, dass nur die weiß eingefärbten Glasstränge sichtbar sind. Es zeigt sich, dass der breitere Glasstrang nur oberflächlich gefärbt ist. Es werden also im CT-Scan Herstellungsprozesse sichtbar, welche sonst verborgen geblie-



ben wären. In diesem Fall haben die historischen Glasmacher einen Teil der entfärbten Glasstränge weiß eingefärbt, um sie mit farblosen Strängen zu kombinieren. Hierdurch ist sichergestellt, dass die miteinander tordierten Stränge der Glasmasse ein sehr ähnliches physikalisches Verhalten beim Abkühlen an den Tag legen und das Glas nicht aufgrund innerer Spannungen zerrissen wird. Ein Kühl-ofen war sicherlich trotzdem für die Herstellung nötig.

Momentan wird von der Altertumskommission für Westfalen im Rahmen eines Dissertationsprojektes von Ulrich Lehmann eine Reihenuntersuchung an Schwertern, u. a. mit einer CT-Anlage, durchgeführt. Um die hierbei anfallenden Kosten zu senken, wurden die Schwerter zuvor mit der hauseigenen Röntgenanlage mit Bildkraftverstärker untersucht und die aussagekräftigen Ergebnisse versprechenden Bereiche selektiert. Durch diese Vorarbeiten konnten die eigentliche Scanzeit und somit der Preis erheblich reduziert werden.

Abb. 4 Röntgenbild der Glasscherbe in der Draufsicht. Der in Abb. 5 gezeigte Auswahlbereich ist mit dem blauen Rechteck markiert (Foto: CTM-do GmbH, Dortmund).

Abb. 5 Gefärbte Glasstränge in der 3-D-Ansicht mit Vermessungspunkten, das farblose Glas ist durch die Selektion der dargestellten Grauwerte unsichtbar (Foto: CTM-do GmbH, Dortmund).

Die beiden 3-D-Scanverfahren haben also ihre spezifischen Eigenschaften und für welches Verfahren man sich letztendlich entscheidet, hängt von den Fragestellungen der Wissenschaftler ab. Voxel-basierte Verfahren erfassen ein Objekt vollständig, also auch das Innere und seine Strukturen, STL-Scans erfassen nur die Oberfläche eines Objektes. Mit beiden Verfahren lassen sich, ohne direkte Berührung der Objekte, Informationen in bemerkenswertem Umfang schöpfen. Beide Systeme eignen sich auch zur virtuellen Darstellung von Objekten in den entsprechenden Medien, welche in Zukunft in den Museen wahrscheinlich immer wichtiger werden.

Summary

3-D scans of archaeological artefacts are becoming more and more popular, because they offer non-destructive insight into the manufacturing techniques while also serving as a basis for the construction of replicas. This

contribution presents two processes that use completely different techniques and thus produce different results. Which process is chosen therefore directly depends on the scientific questions being asked.

Samenvatting

3D-scans van archeologische voorwerpen worden steeds populairder, omdat ze zonder aantasting van het object informatie kunnen verstrekken over de gebruikte technieken bij het vervaardigen en tegelijkertijd ook een uitgangspunt kunnen zijn voor het maken van replica's. In deze bijdrage worden twee procedés behandeld die met fundamenteel andere technieken werken en dienovereenkomstig verschillende resultaten opleveren. De keus voor de te gebruiken methode is daarom direct afhankelijk van de wetenschappelijke vraagstelling.

Rekonstruktion

Die Rekonstruktion einer mittelbronzezeitlichen Schwertscheide aus Porta Westfalica

Eugen Müsch

Kreis Minden-Lübbecke, Regierungsbezirk Detmold

Abb. 1 Der geöffnete Block mit bereits freigelegten und gereinigten Resten der Holzscheide (Foto: LWL-Archäologie für Westfalen/E. Müsch).

Bronzezeitliche Bestattungen mit Schwertbeigabe sind in Westfalen äußerst selten (s. Beitrag S. 60). Umso glücklicher ist der Umstand, dass bei dem Schwertfund aus Porta Westfalica-Barkhausen anhand von organischen Resten im Befund auch erstmalig Aussagen zum Aufbau und Aussehen einer bronzezeitlichen Schwertscheide aus unserer Region gewonnen werden konnten. In der Regel vergehen organische Materialien im Boden relativ schnell.

In Mitteleuropa können sie die Zeiten fast ausschließlich unter anerober Nassbodenverhältnissen, im Kontakt mit Metallsalzen mit biozidischer Wirkung oder infolge einer Mineralisierung durch Eisenkorrosionsprodukte überdauern. In unserem Fall handelte es sich nicht um einen reinen Nassbodenfund. Der Befund lag in einem Bodenbereich mit schwankender Staunässe, was erklärt, dass die organische Substanz bereits stark abgebaut war

