

Die Helix-Computertomografie und ihr Einsatz in der Archäologie

Mehrere Regierungsbezirke

Ulrich Lehmann

Die Anzahl der eingesetzten Verfahren zur Untersuchung und Präsentation archäologischer Funde steigt nicht erst in den letzten Jahren stetig an. So werden etwa mit Streifenlichtscans und dem Image Based Modeling digitale 3-D-Objekte von Artefakten und Fundstellen erzeugt. Die in einem Fundobjekt verwendeten Materialien lassen sich hingegen mit Röntgenfluoreszenzanalyse ergründen. Außerdem hat sich die digitale 3-D-Röntgen-Computertomografie (CT) bereits seit einiger Zeit als zerstörungsfreie Methode zur Analyse archäologischer Artefakte etabliert.

Meist werden für die CT-Untersuchung archäologischer Funde industrielle Anlagen verwendet, die ansonsten hauptsächlich zur Materialprüfung, etwa von Gussteilen, dienen. Im Vergleich zu medizinisch eingesetzten Systemen lassen sich hiermit besser hochdichte Materialien wie Metalle mit hoher Auflösung untersuchen, die sich in den Mikro- und teilweise sogar in den Nanometerbereich erstreckt. Vor der Messung wird das Fundobjekt fest auf einem Drehteller montiert. Während des mehrminütigen CT-Scans rotiert es einmal langsam um 360° (Abb. 1).

Die Qualität dieser CT-Scans hängt von mehreren Faktoren ab. So wirken sich etwa eine längere Messung des Objektes aus einem bestimmten Winkel (Integrationszeit) oder eine höhere Anzahl der Winkel, aus denen gemessen wird (Projektionen), positiv auf das Ergebnis aus. Weitere Faktoren bilden die Stromstärke, die Spannung, die eingesetzten

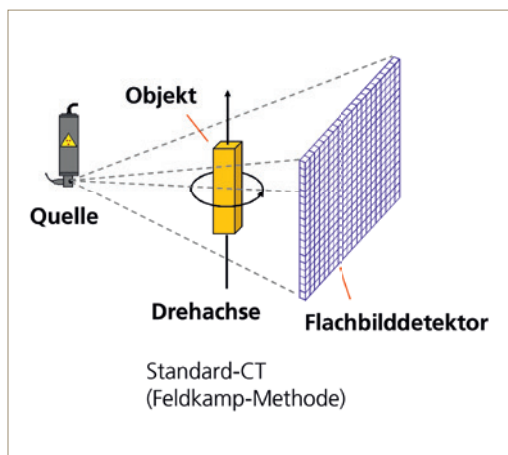
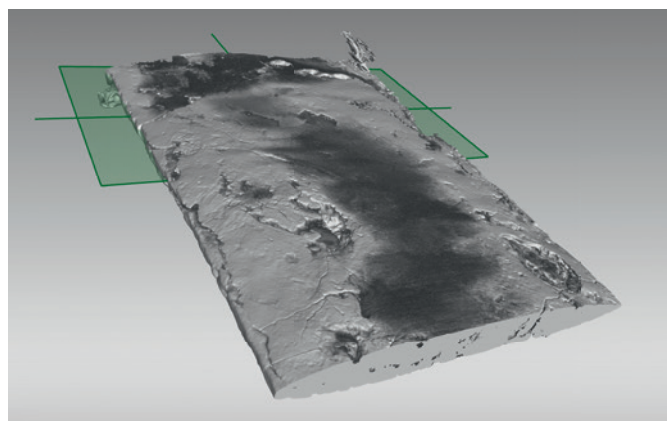
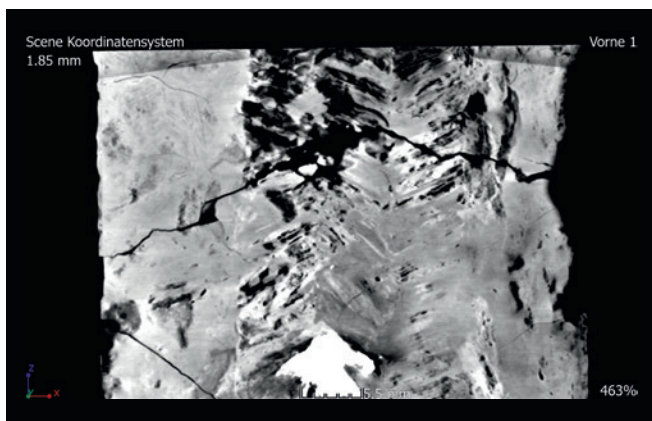


Abb. 1 Schematische Darstellung des konventionellen CT-Verfahrens (Feldkamp-Methode) (Grafik: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen).

Filter und die verwendeten Verfahren zur Errechnung des digitalen Modells.

Bei der konventionellen Form der CT (Feldkamp-Methode) existieren jedoch verfahrensbedingte Beschränkungen, die für die Analyse archäologischer Fundstücke von Bedeutung sein können. Dies betrifft beispielsweise schmale, längliche Objekte, wie etwa Klingen oder Nadelröhrchen. Man kann sie zwar bis zu einer gewissen Größe mit einem einzigen konventionellen CT-Scan vollständig erfassen, allerdings wird dabei viel leerer Raum mitgemessen. Die Auflösung dieses Datensatzes unterscheidet sich nicht von dem Messergebnis eines viel massigeren Stückes, dessen Breite und teilweise Stärke deutlich größer sind. Man könnte zwar das längliche Objekt näher an die Strahlenquelle heranzuführen, um so kleinere Ausschnitte des Artefaktes

Abb. 2 Frontschnitt (links) und 3-D-Modell (rechts) der konventionellen CT-Untersuchung des Klingensbereiches eines Schwertes aus Grab 160 von Haltern-Flaesheim. Deutlich erkennbar sind die fächerartigen Feldkamp-Artefakte am oberen Bildrand (Grafik: Altertumskommission für Westfalen/U. Lehmann).



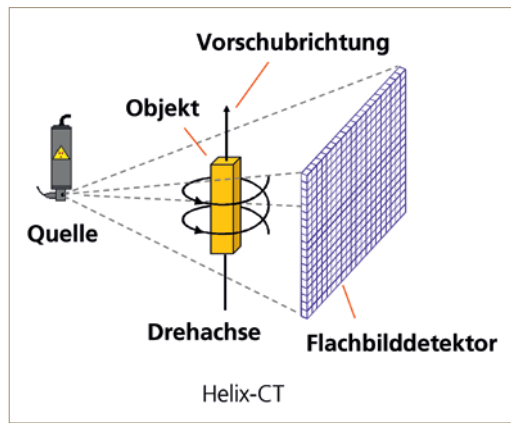


Abb. 3 Schematische Darstellung des Helix-CT-Verfahrens (Grafik: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen).

mit einer besseren Auflösung zu scannen. Diese Bereichsscans sind jedoch sehr zeit- und rechenintensiv, insbesondere wenn sie zu einem einzigen 3-D-Modell verschmolzen werden.

Darüber hinaus stellen sich bei der konventionellen Form der CT sogenannte Feldkamp-Artefakte ein. Dabei handelt es sich um fächerförmige Anomalien, die vor allem abseits des Röntgenstrahlfokus, bei Schichtbildern also am oberen und unteren Rand, entstehen (Abb. 2). Zusätzlich treten derartige Bildfehler dort auf, wo das Messobjekt eine höhere Masse als in den umliegenden Arealen besitzt, bei einem Schwertgriff etwa an den eisernen Griffplatten. Feldkamp-Artefakte sind nicht nur optisch wenig ansprechend, sie können zudem real vorhandene Dichteunterschiede überstrahlen oder den Eindruck von solchen vermitteln, obwohl ein homogenes Material vorliegt.



Abb. 4 Klingenschnitt von der Falkenburg bei Detmold-Berlebeck (Foto: Altertumskommission für Westfalen/U. Lehmann).

Bereits vor etwa 10 Jahren entwickelte das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen eine neue Messmethode, um den oben genannten Schwächen zu begegnen (Abb. 3). Mit der sogenannten Helix-CT steht seitdem ein Steuerungsverfahren zur Verfügung, das bei Anlagen eingesetzt werden

kann, die simultan in der Höhe verstellbare Strahlenquellen und Detektoren oder in der Drehachse verschiebbare Drehteller besitzen. Im Unterschied zur Feldkamp-Methode rotiert das zu analysierende Objekt meist um deutlich mehr als 360°. Während des Scans liegt zudem der Röntgenstrahlfokus nicht immer an derselben Stelle im Gegenstand, da sich Messfeld und Gegenstand zueinander bewegen.

In der Archäologie ist die Helix-CT bisher kaum bekannt. Um ihre Einsatzmöglichkeiten für die Analyse von Fundobjekten zu prüfen, wurde ein exemplarischer Test mit einem Objekt von der Falkenburg bei Detmold-Berlebeck, Kreis Lippe, durchgeführt. Die Messung erfolgte im Rahmen eines Forschungsprojektes der Altertumskommission für Westfalen und wurde von der Firma CTM-do in Dortmund durchgeführt. Bei dem Fund handelt es sich um ein einschneidiges Klingenschnittfragment von 112 mm Länge und 32 mm Breite (Abb. 4). Das Bruchstück stammt höchstwahrscheinlich von einem Langsax des 8. Jahrhunderts. Es wurde im Zuge der langjährigen archäologischen Ausgrabungen der LWL-Archäologie für Westfalen in Kooperation mit dem Lippischen Landesmuseum Detmold vom lizenzierten Sondengänger Dieter Kirchhoff 2016 in einer Halde von aufgeschüttetem Erdreich aus dem Burggraben entdeckt. Der frühmittelalterliche Fund und die hochmittelalterliche Falkenburg stehen offenbar in keinem direkten Zusammenhang.

Das Bruchstück wurde nicht nur wegen seiner langschmalen Form für die Helix-CT-Untersuchungen ausgewählt, sondern auch wegen der zu erwartenden schmidetechnischen Besonderheiten. Eine Röntgenuntersuchung im Zuge der Restaurierung hatte eine sägezahnartige Schweißnaht auf der Klinge und zusätzlich die Schweißmuster eines in den Rücken eingearbeiteten Kompositstabes gezeigt.

Während der Helix-CT rotierte das Fundobjekt etwa 2,5-mal um die eigene Achse. Das im Rechner erzeugte 3-D-Modell besteht aus Voxeln mit einer Kantenlänge von lediglich 44 µm. Bei einer einzigen konventionellen CT-Messung des gesamten Fundes hätte sich die Auflösung auf eine Kantenlänge von 130 µm verschlechtert. Um ein digitales Modell des vollständigen Klingenschnittes mit derselben Auflösung wie beim Helix-CT-Scan zu erzeugen, hätte man Einzelmessungen von drei Teilbereichen durchführen müssen. Da-

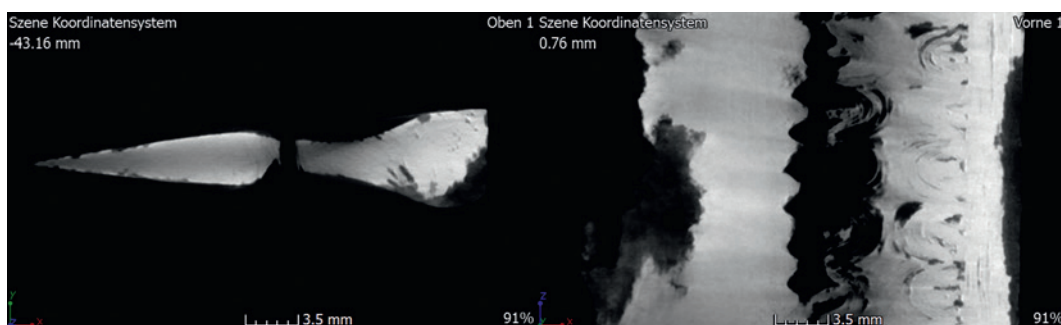


Abb. 5 Querschnitt (links) und Frontschnitt (rechts) der Helix-CT-Untersuchung eines Teilbereiches des Klingenfragmentes von der Falkenburg bei Detmold-Berlebeck (Grafik: Altertumskommission für Westfalen/U. Lehmann).

durch wäre die Scanzeit moderat und die Rekonstruktionszeit erheblich angestiegen. Diese Auswirkung auf die »Maschinenzeit« ist insbesondere dann interessant, wenn eine solche Untersuchung als Dienstleistung eingekauft wird.

Da die Messmethode in diesem Beitrag im Fokus steht, soll auf die Darstellung der Ergebnisse zur Klingenkonstruktion weitgehend verzichtet werden. Bei der Analyse zeigte sich, dass die Auflösung des Datensatzes eine viel detailliertere Erfassung schmiedetechnischer Besonderheiten ermöglicht als ein konventioneller Scan des Gesamtobjektes. So lassen sich etwa Abmessungen der Sägezähne, Schichtstärken und die Anzahl der Torsionen des Kompositstabes genau und sicher erfassen, auch weil störende Bildartefakte kaum vorkommen (Abb. 5). Diese bisher kaum erreichte Messgenauigkeit wird zukünftig maßgeblich für eine umfassende technische Analyse der Funde sein.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Helix-CT eine sinnvolle Alternative zum konventionellen Verfahren darstellen kann. Ein erfolgreicher Einsatz hängt jedoch von der Geometrie und Beschaffenheit des Fundes ab, die im Vorfeld individuell beurteilt werden sollten.

Summary

At this stage, 3D X-ray computed tomography is one of the established methods of examining archaeological finds. When using the conventional, so-called Feldkamp method, however, image errors and imprecise object measurements can have a negative impact on the analysis results. Helical computed tomography now offers a little-known alternative for archaeologists and appears to be quite promising, particularly for measuring oblong artefacts.

Samenvatting

3D-röntgen-computertomografie is effectief gebleken bij onderzoek van archeologische vondsten. Bij de conventionele methode (Feldkamp-methode) kunnen fouten in de beeldweergave en bij het vaststellen van de omvang van de vondsten de analyseresultaten negatief beïnvloeden. Een bij archeologen nog vrijwel onbekend alternatief biedt de Helix-CT, die vooral voor langgerekte objecten veelbelovende resultaten laat zien.

Literatur

Herbert Westphal, Untersuchungen an Saxklingen des sächsischen Stammesgebietes. Schmiedetechnik, Typologie, Dekoration. Studien zur Sachsenforschung 7, 1991, 272–365. – **Alexandra Franz/Klaus Bente/Randolf Hanke**, Die Helix-CT: Eine neue Methode in der archäometrischen Forschung. In: O. Hahn u. a. (Hrsg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2010. Jahrestagung im Deutschen Bergbaumuseum Bochum 15.–18. September 2010. Metalla Sonderheft 3 (Bochum 2010) 40–42. – **Randolf Hanke**, Computertomographie in der Materialprüfung. Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen (Mo.2.A.1). Berichtsband der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung 2010, 2010, 1–12. – **Ulrich Lehmann**, Von Langsaxen und Sägezähnen – ein Klingenbruchstück mit gezahnter Schweißnaht von der Falkenburg bei Detmold-Berlebeck. Archäologie in Ostwestfalen 14 (im Druck).