

# Computertomographie in der Archäologie am Beispiel der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt

Norbert SPICHTIG<sup>1</sup>, Kayo VON EISENHART-ROTHER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt, Basel, Schweiz

<sup>2</sup> RayScan Technologies GmbH, Meersburg

Kontakt E-Mail: [norbert.spichtig@bs.ch](mailto:norbert.spichtig@bs.ch)

**Kurzfassung.** Die zerstörungsfreie Computertomographie findet in den letzten Jahren in einem immer breiteren Bereich der Archäologie Anwendung. Dabei werden Geräte aus dem medizinischen Bereich und zunehmend auch Industrie-Computertomographieanlagen eingesetzt. Die Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt konnte im Jahr 2022 ein eigenes Gerät der Firma RayScan beschaffen, um hausintern die vielfältigen Bedürfnisse abdecken zu können. Im Vordergrund steht die dreidimensionale Erfassung der durch die Bodenlagerung durch Korrosionsvorgänge völlig unkenntlichen Eisenfunden, die jährlich zu Hunderten bei Rettungsgrabungen geborgen werden und die ohne Massnahmen von einem raschen Zerfall bedroht sind. In den meisten Fällen erlauben die CT-Aufnahmen nicht nur eine Ansprache des Fundes, sondern auch die Festlegung konservatorischer Massnahmen. Zusätzlich können mehrere, zeitlich sich abfolgende Erfassungen für das Fundmonitoring dienen, so dass rechtzeitig Massnahmen gegen Zerfallsprozesse ergriffen werden können. Das 3D-Röntgen liefert aber auch Hinweise auf zumeist mineralisierte organische Reste an Metallfunden, wie Textilien oder Leder, oder erlaubt Angaben zu Herstellungsfragen oder technologische Aspekte. Zusätzlich können solche Aufnahmen Einblicke in verschlossene Objekte ermöglichen oder zur kompletten Formerfassung z.B. für ein 3D-Druckreplikat dienen. Bei Holzobjekten können gar Jahrringe völlig zerstörungsfrei ausgemessen werden für eine präzise Datierung des Fundes. Weitere Anwendungsbereiche ergeben sich bei der Bestimmung von schlecht erhaltenen oder zusammenkorrodierten Münzen. Eine gar rein virtuelle Restaurierung anhand von CT-Aufnahmen, d.h. ohne Freilegung und physische Konservierung der Funde, kann für wissenschaftliche Zwecke, aber auch für die Vermittlung genutzt werden.

## 1. Einleitung

Die Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt (ABBS) hat als kantonale Dienststelle die Sicherung, Erforschung und Vermittlung des archäologischen Erbes des Kantons Basel-Stadt zur Aufgabe. Dabei erschliesst sie für die breite Öffentlichkeit und die Wissenschaft neue Quellen zur Stadt- und Kantonsgeschichte. Dies dient einerseits der Bewahrung des kulturellen Erbes, andererseits aber auch der Auseinandersetzung der Bevölkerung mit historischen Themen. Der Betrieb gliedert sich in die vier Abteilungen Ausgrabungen, Fundbearbeitung, Vermittlung, Archiv/Sammlung.



Die Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt übernahm 2015 vom Historischen Museum Basel die Betreuung aller Bodenfunde aus dem Kanton Basel-Stadt seit 1962, während frühere Funde weiterhin durch das Museum bewirtschaftet werden. Verbunden mit diesem Wechsel bei der Fundzuständigkeit war der Aufbau eines eigenen Konservierungsbereichs für Bodenfunde aus Metall, Glas, Keramik, Holz usw. Die Konservierung wurde vorher ebenfalls vom Historischen Museum ausgeführt, allerdings ohne eigenes Röntgen. Für effiziente, sachgerechte und schonende Behandlung der Objekte ist hauseigenes Röntgen heute Standard in der archäologischen Konservierung. Der Kredit für den 2019 abgeschlossenen Umbau des neu zentralisierten Standorts der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt ermöglichte die Anschaffung der kompakten Industrie-CT-Anlage RayScan Smart von RayScan Technologies GmbH (Abb. 1). Gegenüber einer Röntgenanlage mit zweidimensionaler Erfassung verspricht die Computertomographie deutliche Vorteile, die nicht nur völlig zerstörungsfrei wesentlich mehr Informationen zu einem archäologischen Fundobjekt liefern kann, sondern auch die Effizienz bei der Fundbehandlung steigern vermag.



**Abb. 1.** RayScan Smart bei der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt.

Durch den Vollschutz dieser Anlage entfiel der teure und aufwendige nachträgliche Einbau eines Strahlenschutzes in die Bestandsinfrastruktur. Die Inbetriebnahme erfolgte im Dezember 2022, so dass bisher knapp ein halbes Jahr Erfahrung mit der eigenen CT-Anlage besteht. Die Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt ist u.W. die erste kantonale archäologische Fachstelle der Schweiz mit eigener CT-Anlage.

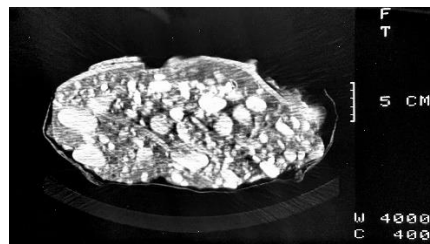
## **2. Frühere Anwendungen von Computertomographien bei der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt**

Bereits in der Vergangenheit kamen Computertomographien vereinzelt bei speziellen archäologischen Bodenfunden aus dem Kanton Basel-Stadt zur Anwendung. Dabei standen immer spezifische Fragestellungen im Vordergrund. Ein breiterer oder gar systematischer Einsatz war jedoch nicht möglich.

### *2.1. Blockbergung eines keltischen Gefässes*

Erstmals konnte 1991 eine Computertomographie im Universitätsspital Basel für ein etwa 2100 Jahre altes Fundensemble aus der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik erstellt werden. Der Fund wurde in originaler Lage zusammen mit dem umliegenden Erdmaterial als Block geborgen und so im medizinischen CT gemessen (Abb. 2). Allerdings war es damals nicht möglich, die Daten digital zu speichern, so dass einzelne Ebenen auf Röntgenfilm ausbelichtet wurden. Die Aufnahmen zeigen, dass es sich um die Deponierung eines durch den Erddruck zusammengedrücktes und zerscherbtes Gefäss handelt, ohne dass ein

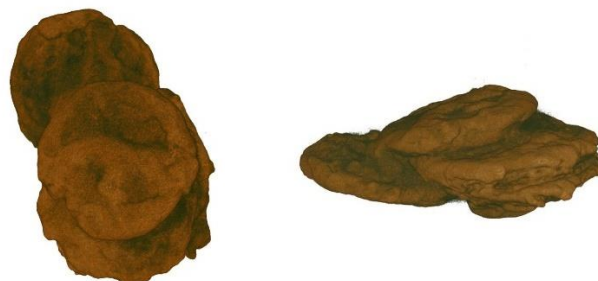
intentioneller Inhalt gefasst werden konnte. Damit konnten vorab wichtige Informationen gewonnen werden für die anschliessend unter Laborbedingungen vorgenommene weitere Untersuchung des feinkeramischen Gefässes.



**Abb. 2.** Der Querschnitt durch die Blockbergung zeigt neben Erde mit Kieseln Scherben eines Gefässes.  
Aufnahme Universitätsspital Basel.

### *2.2. Zerstörungsfreie Bestimmung der Münzen einer kleinen Börse*

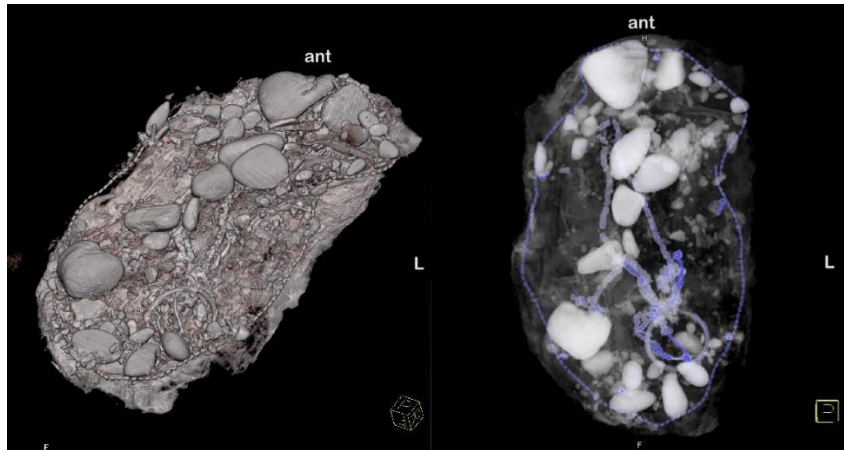
Ebenfalls in der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik konnten in der Verfüllung einer Grube auf engem Raum mehrere, durch die Korrosion der Bodenlagerung miteinander verbackene Münzen einer kleinen Geldbörse geborgen werden. Da die Auftrennung der Münzen weder sinnvoll noch konservatorisch zu vertreten war, wurde eine Neutronentomographie beim Paul Scherrer-Institut (PSI) angefertigt (Abb. 3). Mit den gewonnenen Daten wurde ein 3D-Modell generiert, das virtuell geschnitten werden konnte, um die verdeckten Bildseiten der Münzen sichtbar zu machen. Die Auswertung der Aufnahmen erlaubte es dem Numismatiker Michael Nick alle Münzen völlig zerstörungsfrei sicher oder wahrscheinlich demselben Typ zu zuweisen [1]. Damit konnte eine wesentliche Grundlage für die weitere wissenschaftliche Einordnung erzielt werden.



**Abb. 3.** Virtuelles 3D-Modell eines Teils der Münzbörse von oben (links) und von der Seite (rechts). Grafik: NEUTRA-Team PSI

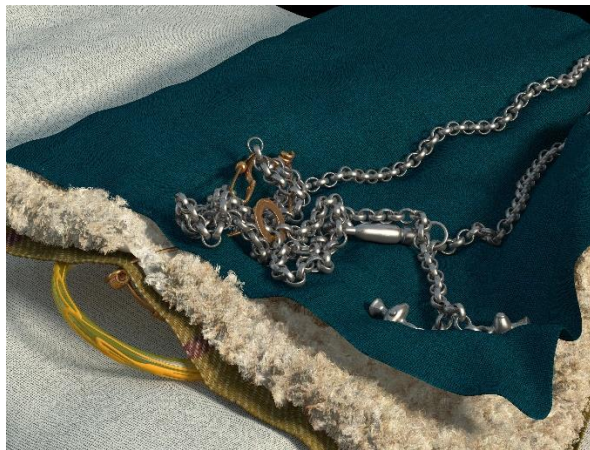
### *2.3. Blockbergung eines Teils einer Körperbestattung*

Bei einer Körperbestattung aus Gräberfeld A von Basel-Gasfabrik kamen im Beckenbereich eines Kinderskeletts verschiedene, teilweise äusserst prekär erhaltene Objekte zu Tage. Da die weitere Untersuchung im Felde nicht zu verantworten war, musste der gesamte Bereich als Block geborgen werden. Allerdings war die Bestattung in den natürlichen, instabilen Kies eingebracht worden, so dass der Bereich inklusive der Objekte mit Cyclododekan übersprüht und dadurch verfestigt werden musste, bevor er en bloc entnommen werden konnte [2]. Deshalb bot sich an, unmittelbar nach der Bergung ein CT durch das Rechtsmedizinische Institut der Universität Bern ausführen zu lassen (Abb. 4).



**Abb. 4.** Drei- und zweidimensionale CT-Darstellung der Blockbergung des Beckenbereichs einer Kinderbestattung. Auswertung: Rechtsmedizinisches Institut der Universität Bern

Anhand der CT-Aufnahme konnten nicht nur die Objekte identifiziert und lagemässig erfasst werden, sondern es liessen sich völlig ohne Eingriffe Informationen gewinnen, die entscheidende Hinweise auf die Art und Weise der Bestattung ergaben. Beispielsweise lag die metallene Gürtelkette in Erwachsenengrösse zwar auf dem Becken und somit vermeintlich in Traglage. Das CT zeigte aber, dass die Kette nicht um den Körper geschlungen wurde, sondern lose auf das Becken gelegt und durch zwei Fibeln (Gewandschliessen) fixiert worden war. Anhand der 3D-Röntgenaufnahme gelang es, trotz der prekären Erhaltung, die Lage jedes einzelnen Kettengliedes zu erfassen und in eine detaillierte Rekonstruktion einfliessen zu lassen (Abb. 5).



**Abb. 5.** Rekonstruktion der Lage u.a. der Gürtelkette anhand der CT-Aufnahme. Grafik: H. Colombi, ABBS.

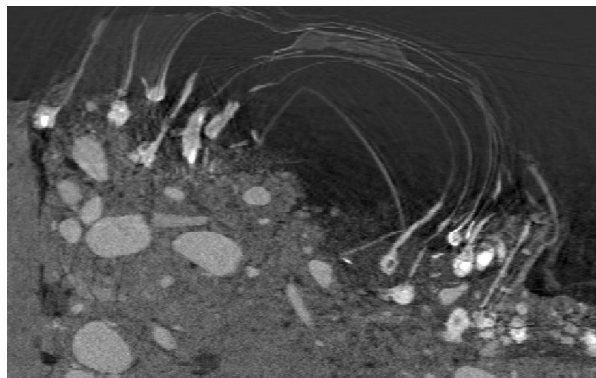
#### 2.4. 400 kg schwerer Block im CT

Als bisher grösstes Objekt wurde der zentrale Teil einer Deponierung zahlreicher sehr bedeutender Objekte aus spätkeltischer Zeit auf einer CT-Anlage gemessen. Während die mehr als 30 keramischen Gefässe, mehrere Holzleimer, verschiedene Geräte, ein steinerner Mörser und andere Funde vorab geborgen werden konnten, wurde der zentrale Bereich als Block geborgen, der auf engem Raum zahlreiche, ineinander «verschachtelte», zumeist metallene Funde enthält [3]. Diese um 400 kg schwere Blockbergung konnte in der EMPA auf dem Linac durchstrahlt werden (Abb. 6).



**Abb. 6.** Der mehrere hundert Kilogramm schwere Block auf dem Linac der EMPA.

Dadurch konnte erstmals ein detaillierter Einblick in dieses zentrale Fundensemble gewonnen werden, der neben Werkzeugen und Geräten u.a. Stapel von Metallgefäßen aufweist (Abb. 7). Das CT dient nicht nur der Identifikation der Funde, sondern erlaubt auch Strategien zu entwickeln für die äusserst komplexe Untersuchung und Konservierung.



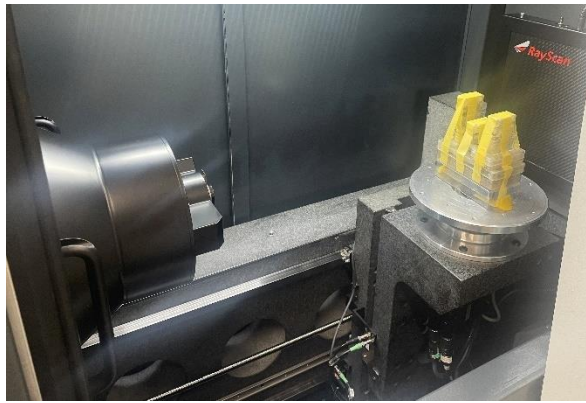
**Abb. 7.** CT-Schnittbild durch den Stapel mehrerer Metallgefässe. Auswertung: Ph. Schütz, EMPA.

### **3. Hauptsächlichliche Zielsetzungen für Computertomographie bei der Archäologischen Bodenforschung**

Während in der Vergangenheit v.a. aussergewöhnliche Funde bzw. –Ensembles mittels CT erfasst wurden, bietet ein eigenes Gerät darüber hinaus vielfältige zusätzliche Möglichkeiten. Im Vordergrund stehen Bodenfunde aus Eisen, von denen jedes Jahr bei Rettungsgrabungen im Kanton Basel-Stadt mehrere tausend geborgen werden. Durch die Jahrhunderte oder gar Jahrtausende lange Lagerung im Boden sind sie i.d.R. so stark korrodiert, so dass sich kaum je die Form und damit die Bedeutung erkennen lässt. Somit kann – ohne Röntgenuntersuchung – nur die sorgfältige und zeitaufwendige mechanische Freilegung die Gestalt des ursprünglichen Objektes enthüllen. Doch die Kapazität der Konservierung reichte früher und auch heute bei weitem nicht aus, alle Eisenfunde zu bearbeiten. Erschwerend kommt dazu, dass nach Entnahme aus dem Erdreich sich der Zerfall meist deutlich beschleunigt, trotz Lagerung in klimatisierter Umgebung. Somit besteht nur ein gewisses Zeitfenster, um die Informationen zum Objekt zu erfassen oder das Objekt konservatorisch zu behandeln. Deshalb wurde bereits vor Jahren das systematische Röntgen aller Eisenfunde implementiert, um eine Priorisierung der Objekte vornehmen zu können. Röntgenbilder stellen eine deutliche Hilfe dar, aber sind oftmals nicht ausreichend, um genügende

Informationen gewinnen zu können, da nur eine – oft nicht optimale – Projektion vorliegt. Erst die dreidimensionale Röntgenaufnahme kann den Fund in seiner kompletten Gestalt erfassen. Dadurch wird eine gut abgestützte Priorisierung bzw. Auswahl der archäologischen Objekte ermöglicht, für die aus wissenschaftlicher Sicht, für die Vermittlung usw. eine konservatorische Behandlung von hoher Relevanz ist oder bei denen Informationen vermutet werden, die in der CT-Aufnahme nicht zu erkennen sind (z.B. mineralisierte organische Reste). Die übrigen Objekte werden nicht konserviert, weil sie nicht behandelt werden dürfen (z.B. Schlacken wegen Analysen) oder müssen bzw. da die Computertomographie ausreichende Informationen liefern kann. Alle originalen Funde, egal ob konservatorisch behandelt oder nicht, werden aufbewahrt und in klimatisierter Atmosphäre eingelagert.

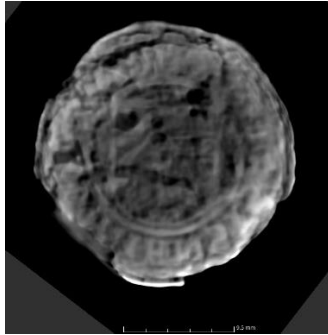
Da archäologische Bodenfunde zumeist kleinformatig, aber zahlreich sind, kann aus Zeit- und Aufwandgründen kein CT-Messvorgang pro individuellem Fund ausgeführt werden. Deshalb wurde die gemeinsame Messung von mehreren, gleichartigen Funden entwickelt, die in ihren Kunststoffschachteln übereinandergestapelt werden (Abb. 8). Später wird das gemeinsame Messvolumen in der Software VGSTUDIO MAX wieder in separate Datenblöcke je Fund aufgeteilt.



**Abb. 8.** Mehrere Objekte werden in ihren Kunststoffschachteln gemeinsam im CT gemessen.

#### **4. Aktuelle Anwendungsbeispiele bei der Archäologischen Bodenforschung**

Fragile archäologische Bodenfunde, die aus Erhaltungsgründen gar nicht oder nicht genügend freigelegt werden können, lassen sich oft lediglich noch durch eine berührungslose dreidimensionale Erfassung bestimmen. So konnten Münzbilder optisch völlig unkenntlicher Münzen dank der Auswertung von CT-Aufnahmen doch noch erkannt und damit numismatisch ausgewertet werden (Abb. 9). Ähnliches gilt für Funde, die aneinander korrodiert oder zusammengefaltet sind und die nicht gelöst bzw. aufgefaltet werden können oder dürfen. Als Beispiele können auch hier Münzen angeführt werden. Allerdings sind für eine wissenschaftliche Auswertung solcher CT-Renderings gute numismatische Kenntnisse notwendig, so dass auch seitens Numismatik das Handling von Computertomographien beherrscht werden sollte.



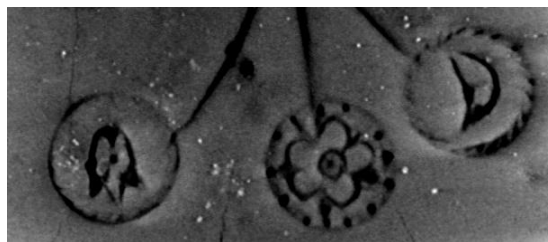
**Abb. 9.** Dank CT lässt sich das Münzbild der äusserst prekär erhaltenen Neuzeit-Münze bestimmen.

Wenig stabile Objekte oder ganze Fundensembles werden auf der Ausgrabung oft zusammen mit dem umgebenden Erdreich geborgen, da sie im Feld nicht adäquat untersucht werden können. Eine dreidimensionale Röntgenaufnahme ermöglicht dann nicht nur einen ersten Einblick und hält die Fundsituation detailliert fest, sondern dient auch zur Identifikation der enthaltenen Objekte und für die Festlegung einer Freilegungs- und Konservierungsstrategie. Ein als kleine Blockbergung aus einem frühmittelalterlichen Grab entnommenes Objekt liess sich in der CT-Aufnahme unschwer als Bügelschere erkennen. Sie zeigte aber auch auf der einen Seite dieses eisernen Objektes Reste eines recht weitmaschigen Textilgewebes, so dass diesem Umstand bei der Freilegung des Fundes Rechnung getragen werden konnte.

Manchmal gelingt es auch Merkmale in Computertomographien nachzuweisen, die auch bei sorgfältigster Freilegung nicht beobachtet werden können. So haben sich in der Korrosionsschicht der eisernen Schwertscheide aus einem rund 2500 Jahren alten Grab feinste strukturelle Reste des einst wohl ledernen, aber völlig vergangenen Schwertgurts erhalten, die in der 3D-Röntgendarstellung erkennbar blieben. Daraus lässt sich ableiten, dass der Gurt offensichtlich um die Schwertscheide geschlungen worden war und damit das Schwert nicht getragen, sondern einst lose neben dem Toten niedergelegt worden sein musste.

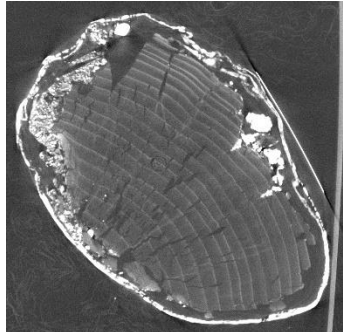
Der zerstörungsfreie «Blick ins Objekt» kann auch bei der Erfassung von herstellungstechnischen Merkmalen dienen. Die dreidimensionale Verteilung und Ausrichtung von Magerungsbestandteilen in einem keramischen Gefäss hat sich als guter Indikator erwiesen, um festzustellen, ob es von Hand aufgebaut oder auf der Töpferscheibe hergestellt worden war.

Bei einer mittelalterlichen Gussform aus Stein stellte sich die Frage, aus welchem Metall einst die darin hergestellten Objekte bestanden. Dies kann über Materialanalysen kleinster in der Steinoberfläche eingelagerter Metallreste angegangen werden. Für die Detektion von solchen Materialanalysenstellen wurde ein CT-Schnittbild der Oberfläche erstellt, in dem sich tatsächlich verschiedene Stellen mit höheren Dichtewerten abzeichnen (Abb. 10). Allerdings handelt es sich dabei nicht nur um Metallreste, sondern auch um Einschlüsse im Sandstein selbst.



**Abb. 10.** Detail des Schnittbildes der Gussform mit hell erscheinenden Metallresten und Dichtezonen im Sandstein

Bei verkohlten Hölzern oder solchen aus immer feuchtem Milieu, die oft nur noch eine geringe mechanische Stabilität besitzen, dienen CT-Schnittbilder der Sichtbarmachung von Jahrringen und holzanatomischen Merkmalen. Dadurch kann einfach evaluiert werden, ob sie für eine dendrochronologische Analyse geeignet sind. Anschliessend lassen sich die Jahrringbreiten gleich rein virtuell für eine jahrgenaue Datierung ausmessen.



**Abb. 11.** CT-Schnittbild durch ein verkohltes Holz aus dem Mittelalter. Für eine Dendrodatierung ist die Anzahl Jahrringe jedoch zu gering.

## 5. Ausblick

Im bisherigen, wenige Monate umfassenden Erfahrungszeitraum konnte das Potential der Computertomographie im Bereich der Archäologie keineswegs ausgeschöpft werden. Es zeichnen sich weitere Perspektiven ab, in dem etwa CT-Aufnahmen als Grundlage für die wissenschaftliche Publikation von Metallfunden dienen und damit ein durchgehend digitaler Workflow erzielt werden kann. Selbst dreidimensionale virtuelle Restaurierungen beispielsweise zerbrochener Funde rein anhand von Computertomographien sind schon erfolgreich umgesetzt worden, sei es für die Vermittlung, sei es für wissenschaftliche Auswertungen [4]. Natürlich können mittels 3D-Druck von daraus abgeleiteten Oberflächenmodellen auch physische Repliken erzeugt werden. Ein weiterer Anwendungsbereich kann das Monitoring von konservierten Eisenobjekten darstellen, in dem deren Stabilität und Veränderungen durch Vergleich von CT-Aufnahmen aus unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben wird. Mit zunehmender Erfahrung, breiter innerhalb und ausserhalb des Betriebs abgestütztem Know-How und Vernetzung werden sich weitere Anwendungsmöglichkeiten eröffnen.

## Referenzen

- [1] Michael Nick: Zwei Tote und eine Hand voll Geld – Zum Fund einer Börse in der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik, Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt 2006, Basel 2008, 93-94.
- [2] Frédérique-Sophie Tissier u. Norbert Spichtig: Blockbergung mittels Cyclododekan am Beispiel eines latènezeitlichen Grabes von Basel-Gasfabrik, Archäologie der Schweiz 31/4, Basel 2008, 30-33.
- [3] Andreas Niederhäuser, Hannele Rissanen, Johannes Wimmer: Auf den Kopf gestellt – Eine außergewöhnliche Deponierung in der jüngerlatènezeitlichen Zentralsiedlung Basel-Gasfabrik, in: Wendling, Holger et al. (Hg.): Objekt – Depot – Motiv. Kontext und Deutung von Objektniederlegungen im eisenzeitlichen Mitteleuropa. Beiträge zur Jahressitzung der AG Eisenzeit bei der gemeinsamen Tagung des WSVA sowie des MOVA vom 19.- 22. März 2018 in Halle/Saale, Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 95, Langenweissbach 2020, 81–94.
- [4] Jörg Stelzner, Die Computertomographie als Untersuchungs- und Dokumentationsmethode zur Bearbeitung frühmittelalterlicher Fundkomplexe. Dissertation Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Stuttgart 2016.