

## Literatur

**Sabine Faust**, Fulcr. Figürlicher ornamentaler Schmuck an antiken Betten. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung, Ergänzungshefte 30 (Mainz 1989) 146–147. – **Stephan Berke/Dirk Sander**, Klinen mit Beinschnitzereien aus der römischen Nekropole von Haltern am See. Archäologie in Westfalen-Lippe 2010, 2011, 268–272. – **Stephan Berke**, Zu Klinen mit

Beinschnitzereien aus der römischen Nekropole von Haltern. In: Detlef Hellfaier/Elke Treude (Hrsg.), Museum, Region, Forschung. Festschrift Rainer Springhorn. Schriften des Lippischen Landesmuseums 7 (Detmold 2011) 285–291. – **Jannis Breuninger u. a.**, Generative Fertigung mit Kunststoffen – Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern (Heidelberg 2013). – **Florian Vierling**, Practical 3D – 3D-Praxis. 3D-Scanner (Augsburg 2013).

Archäometrie

# Vom Einsturz der Framerate – der Weg zur virtuellen Ausgrabungsstätte

Lukas  
Fischer

Regierungsbezirk Münster

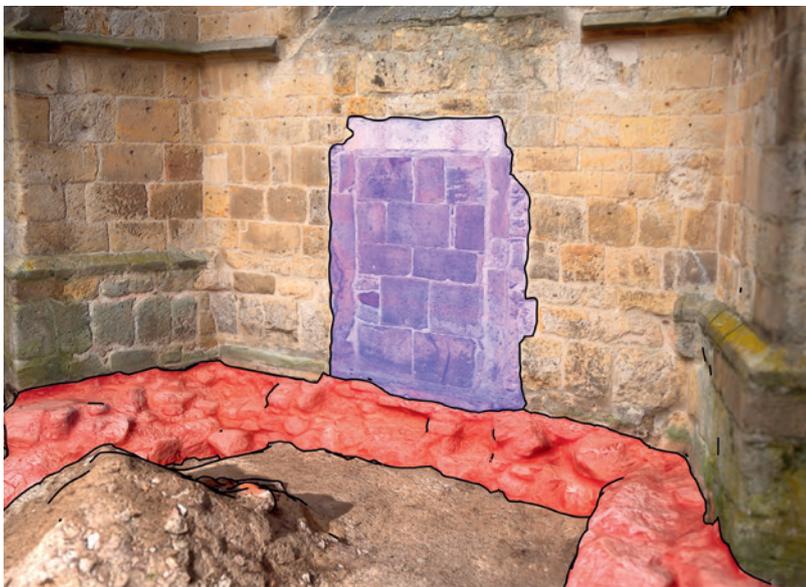
**Abb. 1** 3-D-Modell der Außenseite des Chorraumes der Evangelischen Stadtkirche Westerkapeln mit farbig markierten 3-D-Objekten (Digitales Modell: L. Fischer).

Structure from Motion (SfM) hat Einzug in die Grabungsdokumentation gehalten. Man ist heute in der Lage, mit einer einfachen Digitalkamera komplexe Grabungsstrukturen in kürzester Zeit dreidimensional zu erfassen. Die Bildreihen von Befunden werden mittels SfM-Software automatisiert, miteinander verglichen und zueinander in ein festes geometrisches Verhältnis gesetzt. Diese Software ist kostengünstig und leistungsfähige Rechner stehen ohnehin für die vermessungstechni-

tationswerkzeug geworden. Die 3-D-Modelle sind nun so exakt und anschaulich, dass sie den wissenschaftlichen Ansprüchen in der Archäologie genügen. Jedoch schaffen diese dreidimensionalen Daten auch eine Vielzahl an neuen Herausforderungen.

In der Archäologie ist seit Beginn der Digitalisierung die Varianz digitaler Daten enorm angewachsen. Neben digitalen Grabungsfotos und Vermessungsdaten gibt es eine große Menge methodenabhängiger Dateiformate und Programmversionen. Mit jeder weiteren Softwareanwendung ergeben sich dadurch Schwierigkeiten mit der Langzeitarchivierung, die alltägliche Nutzung der Daten wird unübersichtlicher. Für die Befundkartierung bieten CAD und GIS Programme sehr effektive Werkzeuge. Die Verarbeitung von 3-D-Modellen ist hier jedoch nur in Grundzügen umsetzbar.

Bei hochwertigen 3-D-Scannern werden farbige Punktwolken ausgegeben, die ohne Bildtextur eine fotorealistische Oberfläche wiedergeben. Dabei wird mit farbigen Einzelpunkten gearbeitet, die hochpräzise sind und deren Anzahl im Millionenbereich liegt. Diese Datenmengen sind in der Praxis schwer handhabbar. Beim Einsatz von 3-D-Scannern auf archäologischen Ausgrabungen wurde daher bislang zusätzlich eine händische Dokumentation erstellt. Diese herkömmliche Dokumentation war außerdem notwendig, da in der Archäologie die bloße Aufnahme von Strukturen nicht ausreicht. Einen ebenso wichtigen Stellenwert haben die Interpretationen des Ergrabenen durch schriftliche und zeichnerische Befunddokumentationen. Für die detail-

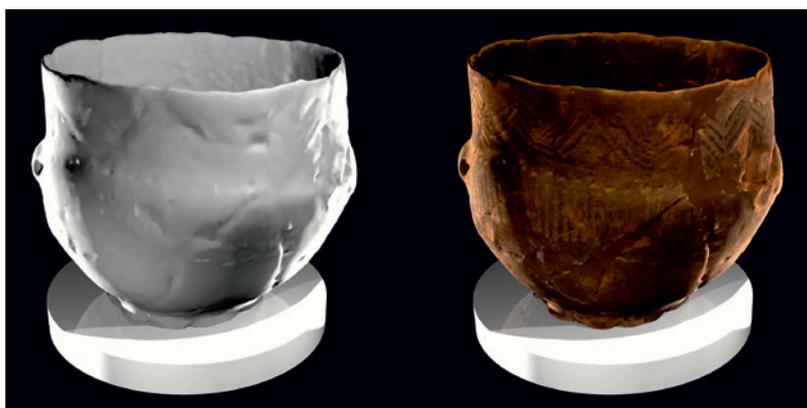


sche Nachbereitung von Grabungsplänen zur Verfügung. Insbesondere durch die Verbesserung der Algorithmen, die für die Erstellung von 3-D-Punktwolken angewandt werden, ist die kommerzielle Software Photoscan von Agisoft zu einem leistungsstarken Dokumen-

getreue Erfassung von einzelnen Befundsituationen oder Objekten ist Structure from Motion bereits jetzt in der westfälischen Archäologie zu einem nützlichen Werkzeug geworden. Jedoch stellt sich die Frage, wie sich eine größere Menge Grabungsdaten bis hin zu einer gesamten Grabungsdokumentation in 3-D verwalten und interpretieren lässt.

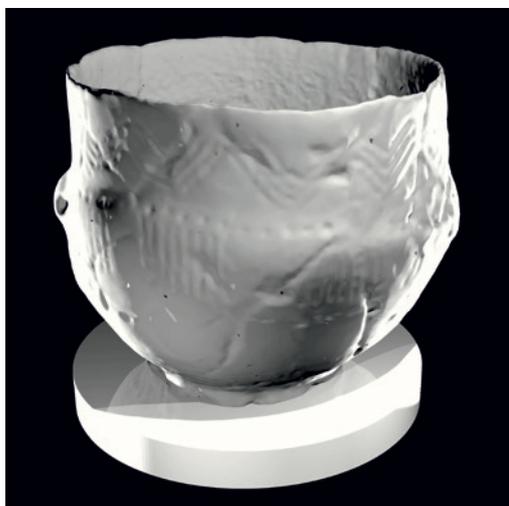
Ein Weg zur Zentralisierung aller auf der Ausgrabung gesammelten Informationen könnte der Wechsel zu 3-D-Grafik- und Animationssoftware sein. Als Beispiel ist die professionelle Open Source Software Blender zu nennen, bei der auch tiefe Eingriffe in die aufgenommenen Modelle möglich sind. So können Bereiche im Polygonnetz herausgetrennt und neu gruppiert werden, wodurch nach Befund getrennte Verwaltungseinheiten entstehen. Statt in einer projizierten 2-D-Ebene zu arbeiten, können Tausende von gemessenen Objektpunkten mit einer gemeinsamen Befundnummer versehen und – wenn gewünscht – auch farbig gekennzeichnet, nummeriert oder umrandet werden. Die Ergebnisse sind dann nicht nur auf dem Papier publikationsfähig, sondern auch für vielfältigste Visualisierungsmöglichkeiten vorbereitet. Weiteres Arbeiten und Analysieren im Modell ist durch anpassbare Mess- und Abfragewerkzeuge und frei wählbare Schnitte möglich. Das Importieren der 3-D-Daten und der CAD-Vermessungspläne ermöglicht die Zentralisierung der Daten auf einer einzigen Plattform. Um die Vorteile einer zeitsparenden und kostengünstigen Methode wie SfM sowie einer modernen 3-D-Software wie Blender zu nutzen, bietet es sich außerdem an, die Grabungsmethodik darauf abzustimmen. So ist der Informationsgehalt einer 3-D-Dokumentation bei plastischen Körpern am größten, während die Lage eines künstlichen Planums theoretisch bereits mit einer einfachen Vermessung optimal erfasst ist. Natürliche Schichten oder plastische Strukturen in einer stratigrafischen Abfolge zu erfassen, bietet einen großen Anreiz. Grabungssituationen können dann im 3-D-Modell mit variabel versetzbaren Schnitten regelrecht durchleuchtet werden. Jegliche Größenverhältnisse von Schicht zu Schicht bleiben so der Nachwelt erhalten.

Das 3-D-Modell (Abb. 1) zeigt den ehemaligen Durchbruch zur Ledeburkapelle an der Evangelischen Stadtkirche Westerkappeln. Es handelte sich um eine Chorscheitelkapelle, deren Zugang nach ihrem Abriss zugemauert wurde. In diesem 3-D-Modell wurden beispiel-



haft der Zugang (blau) und das Fundament des Chorhauses (rot) markiert und umrandet.

Spätestens dann, wenn die errechneten Modelle mehrere Millionen Punkte beinhalten, bringt die 3-D-Dokumentation große Herausforderungen mit sich. Mit solchen Datenmengen stoßen selbst modernste Hardware und Grafikengines (Programmcodes zur Grafikberechnung) an Grenzen. Bei Überforderung stürzen die wiedergegebenen Bildraten ein: Die Anzeige »ruckelt«. Um bessere Leistungen in der Bearbeitung der Daten zu erzielen, gibt es



**Abb. 2 (unten)** Hochaufgelöstes 3-D-Modell eines schnurkeramischen Bechers aus Greven-Gimfte. Links ohne Textur, rechts mit Textur. Die Verzierungen der Keramikoberfläche sind deutlich in der grauen 3-D-Oberfläche zu sehen (Digitales Modell: L. Fischer).

**Abb. 3 (Mitte)** Niedrig aufgelöstes 3-D-Modell. Links ohne Textur, rechts mit Textur. Die Verzierungen sind in der 3-D-Oberfläche nur noch schwach zu erkennen. Im rechten Bild werden jedoch alle Details des Objektes wieder über die Textur sichtbar (Digitales Modell: L. Fischer).

**Abb. 4 (unten)** Niedrig aufgelöstes 3-D-Modell mit aufgelegter Normalmap. Trotz der stark reduzierten Punktmenge werden hier die Details der Schnurverzierung wieder besser sichtbar und können nun mit der Textur kombiniert werden (Digitales Modell: L. Fischer).

verschiedene Mapping-Methoden, die manuell vom Benutzer eingerichtet werden müssen. Zunächst werden die mit SfM generierten Drahtmodelle mit den gemessenen Punktfarben auf einer geschlossenen Oberfläche dargestellt. Um die Darstellung noch erheblich zu verbessern, können mit SfM die Oberflächen mit den Bildinformationen der Fotos versehen werden. Dreiecke, welche immer nur drei gemessene Bildpunkte miteinander verbinden, werden so mit einer Textur aus einer Vielzahl weiterer Bildpunkte angezeigt. So entsteht ein fotorealistischer Bildeindruck.

In vorliegendem Beispiel (Abb. 2 und 3) wurde ein Gefäß der Trichterbecherkultur aus Greven-Gimbte, Sandgrube Rickermann, mit Structure from Motion aufgenommen. Es zeigt sich, dass ein geometrisch schwach aufgelöstes Modell durch die aufgelegte Textur dem Originalmodell gleicht. Während das hoch aufgelöste Modell aus 120.128 Messpunkten besteht, wurde das niedrig aufgelöste Modell auf 36.193 Punkte reduziert. Die ersparten 70 % der Datenmenge machen sich deutlich bei der Hardwareleistung der meisten Rechner bemerkbar.

Es gibt jedoch noch weitere leistungsfähige Mapping-Methoden, die nicht nur die Farbe, sondern vor allem die Oberflächenstruktur des Objektes simulieren können. Hier sind die Normalmap und die Bumpmap zu nennen, welche ähnlich wie die Textur auf der 3-D-Oberfläche liegen. Grüne, rote, gelbe und blaue Farbwerte geben bei der Normalmap die Ausrichtung der Oberflächenwinkel wieder (Abb. 4). Die Bumpmap arbeitet mit Graustufen, um Höhenwerte zu implizieren. Ist die Grafikingine der Bearbeitungssoftware in der Lage, Mappingmethoden wiederzugeben, können die Lichtreflexionen auf dem Objekt so berechnet werden, als wären tatsächlich hochauflösende Strukturen vorhanden. Auf diese Weise werden also extrem hoch aufgelöste geometrische Strukturen auf niedrig aufgelöste Körper aufgebrannt.

Es wird also auf Kosten der geometrischen Genauigkeit eine bessere Verarbeitbarkeit angestrebt. Jedoch bleibt der Objekteindruck einer fotorealistischen 3-D-Aufnahme erhalten. Letzten Endes gibt es für besonders hohe Datenmengen keine Alternative, als eine Vereinfachung anzustreben. Erst durch diese Methoden ist beim derzeitigen Stand der Technologie eine komplette Ausgrabung in 3-D zu bewältigen.

## Summary

The intensive use of the Structure from Motion technique has brought many new opportunities and challenges. The concentrated post-processing of 3D scatter plots results in a more efficient use of the storage space and processing power. Because high-resolution geometric data are very difficult to process, archaeological records should include economical but still photo-realistic interfaces. This will then allow archaeologists to capture complex features in a virtual 3D excavation plan.

## Samenvatting

Door de intensieve inzet van het Structure from Motion-systeem ontstaan veel nieuwe mogelijkheden en uitdagingen. Door intensieve nabewerking van 3-D-puntenwolken kan men een enorme hoeveelheid opslagruimte en rekencapaciteit besparen. Omdat de hoge resoluties van geometrische data moeilijk te verwerken zijn, moeten in de archeologische documentatie eenvoudige »sobere«, maar fotorealistische oppervlakken vervaardigd worden. Op deze manier is het dan mogelijk complexe resultaten in een virtueel 3-D-opgravingsplan weer te geven.

## Literatur

**Thomas P. Kersten u. a.**, Automatische 3D-Objektrekonstruktion aus unstrukturierten digitalen Bilddaten für Anwendungen in Architektur, Denkmalpflege und Archäologie. In: Eckhardt Seyfert (Hrsg.), *Erdblicke – Perspektiven für die Geowissenschaften*. 32. Wissenschaftliche-Technische Jahrestagung der DGPF, 14.–17. März 2012 in Potsdam. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e. V. 21 (Potsdam 2012) 137–148. – **Leo Klinke/Vera Brieske**, Digitale Konservierung eines mittelalterlichen Reliefs am Wittekindsberg als 3-D-Modell. *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2013, 2014, 223–226. – **Ulrich Holtfester/Thorben Schreiber**, »Structure from Motion« am Beispiel der Ausgrabungen am Philosophikum in Münster. *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2013, 2014, 226–229. – **Brandon R. Oslon/William R. Caraher (Hrsg.)**, *Visions of Substance, 3D Imaging in Mediterranean Archaeology*, The Digital Press @ The University of North Dakota, 2015. [https://dl.dropboxusercontent.com/u/16994195/Vision\\_of\\_Substance\\_DigitalBook\\_PUB.pdf](https://dl.dropboxusercontent.com/u/16994195/Vision_of_Substance_DigitalBook_PUB.pdf) (abgerufen am 05.02.2015). – **Ruth-Maria Recker**, *Displacement Mapping*. Studienarbeit am Institut für Computervisualistik. Arbeitsgruppe Computergraphik, Universität Koblenz-Landau 2006. [http://www.uni-koblenz.de/~cg/Studienarbeiten/SA\\_Recker.pdf](http://www.uni-koblenz.de/~cg/Studienarbeiten/SA_Recker.pdf) (abgerufen am 05.02.2015).