

al photogrammetric model records the relief in its current state and allows us to create a replica that is accurate in every detail, for instance by using a 3D printer. Moreover, the change in perspective allows for further research into the object.

### Samenvatting

Een middeleeuws figuratief rotsreliëf aan de Wittekindenberg werd, op basis van het gegeven dat het uniek is en vanwege de toenemende aantasting door erosie, door de Altermuseumkommissie voor Westfalen digitaal geconserveerd. Het fotogrammetrisch ontstane driedimensionale model legt de huidige staat van het reliëf vast en maakt het mogelijk een tot in details nauwkeurige replica te maken, bijvoorbeeld met een 3-D-printer. Bovendien wordt, door de mogelijkheid om het perspectief te wisselen, verder onderzoek aan het object ondersteund.

### Literatur

**Gabriele Böhm**, Mittelalterliche figürliche Grabmäler in Westfalen von den Anfängen bis 1400. Kunstgeschichte 19 (Münster 1993). – **Daniel Bérenger**, Sheela-na-gig in Barkhausen an der Porta Westfalica? Ein rätselhaftes Felsrelief. Archäologie in Westfalen-Lippe 2012, 2013, 125–128. – **Thomas P. Kersten u. a.**, Automatische 3D-Objekt-Rekonstruktion 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. – **Martin Schaich**, Mit digitalen Fotoserien zum 3-D-Modell – Anwendungsmöglichkeiten einer Software. Restauro 5, 2012, 26–30. – **Jochen Reinhard**, Structure from Motion, Drohnen & Co. Neue Wege in der Dokumentation archäologischer Ausgrabungen. Tugium 29, 2013, 177–188.

Archäometrie

## »Structure from Motion« am Beispiel der Ausgrabungen am Philosophikum in Münster

Ulrich Holtfester,  
Torben Schreiber

Kreisfreie Stadt Münster, Regierungsbezirk Münster

Maßstabsgetreue Zeichnungen sind neben der Fotografie einer der Grundpfeiler der Dokumentation auf archäologischen Ausgrabungen. Digitale Vermessungstechniken ersetzen dabei zunehmend das Zeichnen von Hand und sind vor allem bei zeitlich eng begrenzten Maßnahmen sehr hilfreich.

Seit 2012 findet im Doliche-Projekt der Forschungsstelle Asia Minor (Westfälische

Wilhelms-Universität Münster) im Bereich der Felddokumentation das sogenannte Structure-from-Motion-Verfahren (SfM) Anwendung. 2013 wurde diese Methode in einem Kooperationsprojekt erstmals bei der Stadtarchäologie Münster während umfangreicher Ausgrabungen anlässlich eines Neubauprojektes in der Innenstadt von Münster angewandt.

SfM ermöglicht es, aus gewöhnlichen Digitalfotos eines Objektes oder einer Fläche 3-D-Modelle zu erstellen und aus diesen wiederum vollständig entzerrte und georeferenzierte Ansichten (Orthofotos) zu exportieren, die dann in den digitalen Grabungsplan eingelesen werden können (s. Beitrag S. 223). Entscheidend für das Zeichnen von Plana ist, dass die Orthofotos in jedem beliebigen Maßstab geplottet und somit als Zeichengrundlage dienen können, was die Dokumentation erheblich beschleunigt.

Die Grabungsfläche erstreckt sich vom westlichen Rand des Domplatzes hangabwärts in Richtung Aa und umfasst insgesamt eine

Abb. 1 Ausschnitt aus der Grundkarte (Stadt Münster) mit gekennzeichneten Grabungsfläche (Karte: Stadtarchäologie Münster/ U. Holtfester).





Fläche von ca. 1500 m<sup>2</sup>. Darüber hinaus finden seit Januar 2014 Untersuchungen im Inneren des an die Grabungsfläche angrenzenden Philosophikums statt (Abb. 1).

Die Ergebnisse der Grabungen ergänzen das Bild der frühen Besiedlungsphase der Domburg und der in der frühen Neuzeit beginnenden Nutzung des sich unweit der Aa erstreckenden Niederungsbereiches. Auch hinsichtlich der frühen Befestigungsanlage der Domburg erbrachten die Grabungen neue Erkenntnisse. So konnten zwei in einem Abstand von mehreren Metern parallel verlaufende Gräben erfasst werden, deren zeitliche Aufeinanderfolge allerdings noch mit der Auswertung geklärt werden muss.

Das vorgestellte Dokumentationsverfahren wurde in zwei Bereichen der Grabungsfläche angewandt, die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen. Das erste Areal befindet sich im Niederungsbereich der Aa (Abb. 2). Hier konnten vor allem wasserbautechnische Anlagen aufgedeckt werden, darunter eine von Nord nach Süd und damit parallel zur Aa verlaufende Faschinenkonstruktion. Diese über eine Länge von ca. 7 m erfasste und ca. 2,40 m bis 2,60 m breite Konstruktion besteht an ihren beiden Rändern aus jeweils einer Reihe dicht an dicht in den Untergrund gerammter Pfosten aus Weichholz. Die Reihe wird entlang ihrer Westkante zusätzlich von liegenden Stämmen gesichert, die wiederum von Pfosten gestützt werden. Zwischen den beiden Pfostenreihen treten weitere in den Untergrund gerammte Pfähle auf, die nur ansatz-

weise Reihen erkennen lassen. Darunter sind auch vierkantig bearbeitete Exemplare, die alle in Richtung Westen, also gegen anströmendes Hochwasser der Aa geneigt sind. Dazwischen finden sich Bündel aus Weidenruten, die in Verbindung mit den Pfosten regelrechte Flechtwerkwände bildeten. Zum Zeitpunkt der Freilegung türmte sich noch ein bis zu 1,30 m breiter Wall aus einem Gestrüpp aus Ästen und Zweigen entlang der östlichen Innenseite der Konstruktion.

Die Faschinenkonstruktion grenzt im Osten an eine teichähnliche Senke. Deren Sohle war von einer mattenähnlichen Konstruktion aus dicht an dicht und übereinander liegenden Ästen und Stämmen aus Weichholz (überwiegend Birke) bedeckt. Diese von Nord nach Süd bzw. von Nordost nach Südwest ausgerichteten Hölzer sind sicherlich bewusst als flächendeckende Untergrundbefestigung in die Senke eingebracht worden. Aus welchem Grund dies geschah, bleibt vorerst noch unklar.

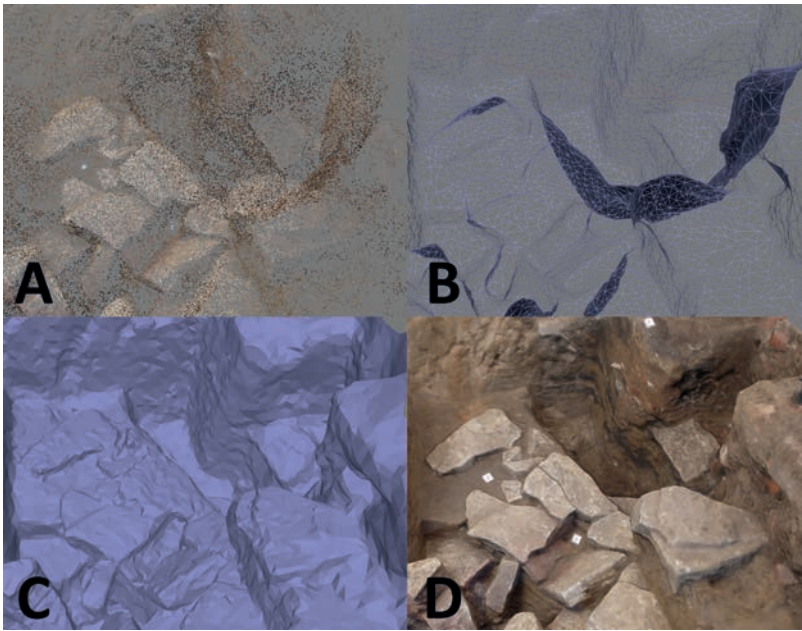
Abb. 2 Orthofoto mit Faschinenkonstruktion im Niederungsbereich der Aa (Digitales Modell: T. Schreiber).



Abb. 3a Orthofoto der Ofenanlage (Digitales Modell: T. Schreiber).



Abb. 3b Blick auf den in den Ofen führenden Kanal (Foto: Stadtarchäologie Münster/U. Holtfester).



(Abb. 3a). Die durch die Vorgängerbebauung und das bestehende, um 1901 errichtete Gebäude gestörte Anlage besitzt einen Durchmesser von ca. 4,50m. Große Abschnitte der verziegelten, bis zu 0,80m hohen Wandung des Ofens sind erhalten. Ein stark verstütztes Bruchsteinmauerwerk im westlichen Randbereich des Ofens entpuppte sich nach weiteren Freilegungsarbeiten als ein in den Ofen führender, 0,45m breiter Kanal, der ursprünglich abgedeckt war (Abb. 3b). Die in Teilbereichen erfasste Sohle der Ofengrube ist flächendeckend von einer mit Holzkohle durchmischten Kalkschicht bedeckt, die auf eine Funktion als Kalkbrennofen schließen lässt. Die Keramik aus der Verfüllung der Ofengrube datiert die Aufgabe des Kalkbrennofens in den Verlauf des 11. Jahrhunderts.

Zunächst wurden von der zu untersuchenden Fläche Digitalfotos angefertigt. Für das hier gezeigte erste Beispiel wurden 109 Fotos, die in 45 Minuten in ein 3-D-Modell umgerechnet wurden, verwendet. Für den zweiten, wesentlich kleineren Bereich reichten 80 Fotos, die bereits in 30 Minuten umgerechnet waren. Die Rechenzeit hängt allerdings stark von der verwendeten Hardware ab und kann je nach Einstellungen im Programm stark variieren.

Die hier eingesetzte Software Agisoft Photoscan (weitere Informationen: [www.agisoft.ru](http://www.agisoft.ru)) untergliedert den Arbeitsprozess in drei Schritte, die je nach Bedarf zusätzlich differenziert werden können (Abb. 4).

Zunächst werden die Fotos ausgerichtet. Dieser Schritt dient dazu, die unterschiedlichen Bilder auf wiederkehrende Punkte zu untersuchen und diese miteinander abzugleichen. Die Software erkennt zudem das verwendete Kameramodell sowie das Objektiv und dessen Brennweite. Somit ist das Programm in der Lage, die aus dem Abgleich der Bilder entstehende Punktwolke tiefenräumlich, also dreidimensional, anzulegen, da die Position der Kamera und somit die relative Entfernung zum Objekt bekannt ist (Abb. 5). Dieser Arbeitsschritt erfordert die längste Rechenzeit, da hier jedes Bild mit allen anderen Bildern abgeglichen wird und die Zeit des Rechenprozesses exponentiell zur Anzahl der Bilder steigt. Im zweiten Arbeitsschritt werden die Punkte trianguliert, also durch Linien miteinander verbunden. So entsteht ein Gitternetz, welches die physikalische Oberfläche des 3-D-Modells darstellt. Abschließend wird aus den angefertigten Bildern eine Textur errechnet

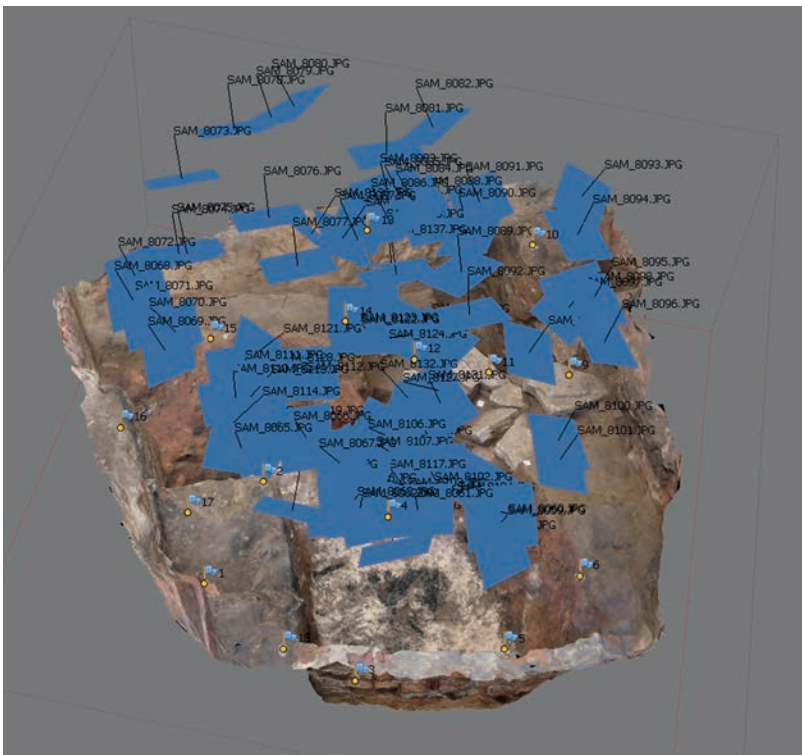


Abb. 4 Von der Punktwolke über das Gitter bis zur Textur (Digitales Modell: T. Schreiber).

Abb. 5 Die Kamerapositionen und das errechnete Modell – die tachymetrisch eingemessenen Referenzpunkte sind gelb markiert (Screenshot: aus Agisoft Photoscan).

Die westlich angrenzende Faschinenkonstruktion wurde offensichtlich als Barriere gegen das regelmäßig auftretende Hochwasser der Aa angelegt. Zur Schaffung von Baugrund wurden die Senke und die Faschinenkonstruktion nach Aussage der zahlreichen Funde zu Beginn des 17. Jahrhunderts verfüllt.

Bei dem zweiten Beispiel handelt es sich um eine hochmittelalterliche Ofenanlage, die im Kellerbereich des Philosophikums während der im Januar 2014 begonnenen bauleitenden Untersuchungen erfasst wurde

und auf das zuvor erstellte Gitternetz projiziert. Die Textur kann auf unterschiedliche Weise errechnet werden, im vorliegenden Fall wurde die Summe aus allen in die Berechnung einbezogenen Bildern verwendet.

Das so erstellte 3-D-Modell muss nun noch mit den dazugehörigen Koordinaten versehen, also referenziert werden. Die hier gezeigte Fläche ist zuvor an 18 Punkten tachymetrisch aufgemessen worden. Agisoft Photoscan bietet die Möglichkeit, in den jeweiligen Fotos die Punkte zu markieren, zu benennen und über eine txt-Datei die zugehörigen Vermessungsdaten zu importieren. Das Programm zeigt dann an, in wie vielen Fotos der angegebene Punkt gefunden werden konnte. Die Genauigkeit der Referenzierung hängt mit der Anzahl der Projektionen zusammen. Je häufiger der Messpunkt in den unterschiedlichen Bildern festgestellt werden konnte, desto genauer ist die Referenzierung des Modells und somit auch des anschließend zu exportierenden Orthofotos.

Der Hersteller Agisoft geht davon aus, dass für eine zuverlässige Referenzierung zehn Messpunkte benötigt werden, jedoch erhöht sich die Genauigkeit mit jedem weiteren Punkt: Die Abweichungen innerhalb des hier gezeigten Modells liegen deutlich unter 2 cm.

### Summary

The »structure from motion« process presented here, which was employed as part of a showcase study involving large-scale excavations carried out in 2013/2014 at the Philosophikum (Philosophical Seminary) in Münster by the Münster City Archaeology Department, allowed the excavators to save time in compiling their records without any great technological or financial effort. The process links up the traditional method of recording features with digital technology, thus offering a helpful alternative, particularly for investigations carried out during ongoing construction work, usually under severe time constraints. The simultaneous creation of 3D models provides the additional option of visualising surfaces and objects.

### Samenvatting

De hier gepresenteerde Structure-from-Motion-Methode, die in 2013/2014, tijdens groot-schalige opgravingen bij het Philosophikum in Münster, door de Stadsarchaeologische Dienst van Münster bij wijze van voorbeeld werd gebruikt, maakt een tijdsbesparende documentatie mogelijk, die zonder grote technische en financiële inspanning toegepast kan worden. Het vormt een verbinding tussen gebruikelijke en digitale documentatie en is vooral bij bouwbegeleidend onderzoek, dat in het algemeen onder grote tijdsdruk uitgevoerd moeten worden, een uiterst nuttig middel. De gelijktijdige vervaardiging van 3-D-modellen biedt een extra mogelijkheid voor de visualisering van plattegronden en objecten.

### Literatur

**Thomas P. Kersten/Maren Lindstaedt**, Generierung von 3D-Punktwolken durch kamera-basierte low-cost Systeme. Workflow und praktische Beispiele. In: Terrestrisches Laserscanning 2012. Schriftenreihe des Deutschen Vereins für Vermessungswesen 69. Beiträge zum 121. DVW-Seminar am 13. und 14. Dezember 2012 in Fulda (Augsburg 2012) 25–46.