

HUBERT MARA – PATRICK SÄNGER

PRÄZISE BESTIMMUNG VON MATERIALSTRUKTUREN BEI POPYRI
MIT 3D-MESSTECHNIK

aus: Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik 185 (2013) 195–199

© Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

PRÄZISE BESTIMMUNG VON MATERIALSTRUKTUREN BEI POPYRI MIT 3D-MESSTECHNIK

Der Papyrologe ist es gewohnt, bei seiner Arbeit immer wieder mit fragmentarischen Papyrustexten oder solchen konfrontiert zu werden, deren Oberfläche stark abgerieben ist, so daß die Schrift bzw. Linienführung nicht mehr erkennbar ist. Vor diesem Hintergrund sind freilich jegliche neu entwickelte Hilfsmittel willkommen, die bei der Vervollständigung fragmentarischer Papyri oder Entzifferung beschädigter Stellen behilflich sein können. In diesem Kontext ergab sich die Fragestellung, ob die 3D-Meßtechnik im Bereich der Papyrologie als ein zukunftsträchtiges und nutzbringendes Arbeitsinstrument Verwendung finden kann. Die folgenden Ausführungen versuchen, einen ersten Eindruck über die derzeitigen Möglichkeiten, die die 3D-Meßtechnik dem Papyrologen eröffnet, zu vermitteln.

Eingesetzt wird die 3D-Meßtechnik bereits in der Assyriologie, denn durch die große Anzahl an schwer lesbaren Keilschrift-Dokumenten wurde ein Verfahren entwickelt, das 3D-Modelle benutzt, um einerseits die Objekte in ihrer Gesamtheit zu erfassen und andererseits die Autopsie der Schriftfläche zu erleichtern. Dieser Einsatz von neuen Technologien wurde in Zusammenarbeit zwischen der Assur-Forschungsstelle der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und dem Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) realisiert.

Bei der Dokumentation von Keilschrifttafeln konnten auch mit freiem Auge schwer erkennbare Fingerabdrücke und Spuren von Rollsiegeln deutlich sichtbar gemacht werden. Angesichts dieser detaillierten Oberflächenanalyse galt es zu klären, welche Ergebnisse ein 3D-Scan eines beschrifteten Papyrusblattes erbringen könnte. Von Brisanz ist diese Frage vor allem deswegen, weil das angezeigte Verfahren im Bereich der Papyrologie unseres Wissens noch nie erprobt wurde. Somit bestehen diesbezüglich bislang keine Erfahrungswerte.

Aufgrund der dünnen Beschaffenheit des Papyrusblattes und der hohen Auflösung des 3D-Meßverfahrens ergab sich die Überlegung, ob die Schrift auch auf der Oberfläche von Papyri räumlich erfaßbar sei. Diesbezüglich optimistisch stimmten Experimente an einem 3D-Scan eines Pergament-Manuskripts¹, durch die die Struktur der aufgetragenen Farbe mittels MSII-Filter als Erhöhung sichtbar gemacht werden konnte. Überdies gelang es, Blindlinien, die dem Schreiber des Pergament-Manuskripts als Linienspiegel dienen sollten, auf dem Blatt als Vertiefung zu kennzeichnen. Angesichts dieser Ergebnisse galt es zu prüfen, ob ein 3D-Scan eines beschrifteten Papyrus zu ähnlichen Beobachtungen führen würde. Von primärem Interesse war also zunächst die Frage, ob eventuell die Tinte eine räumlich erfaßbare Farbschicht und/oder das Schreibgerät bei der Anbringung der Schrift einen nachweisbaren Abdruck hinterlassen, sich die Schriftspuren also in irgendeiner Weise auf dem Papyrus abzeichnen und kenntlich machen lassen. Um dies herauszufinden, führten wir im Beisein von Elke Fuchs, Andreas Beyer und James M. S. Cowey im Juni 2010 eine 3D-Vermessung eines Papyrus durch – motiviert von dem Gedanken, daß uns das Verfahren in der Zukunft bei der Entzifferung von durch Abrieb oder Verblässung stark beschädigten Textstellen eine wesentliche Hilfestellung leisten könnte.

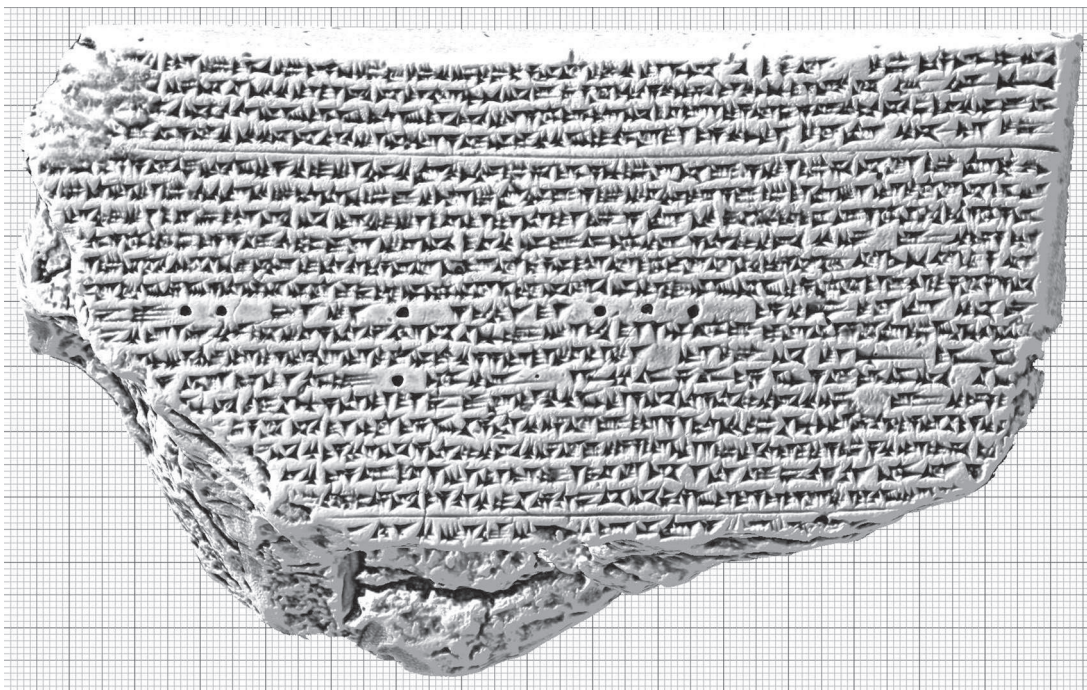
1. Beschreibung des Verfahrens nach den Erfahrungen mit Keilschrifttafeln

Die Datengrundlage wird mit einem hochauflösenden optischen 3D-Scanner basierend auf dem Prinzip des strukturierten Lichtes erhoben. Dabei werden von den Objekten 3D-Modelle erstellt, die eine räumliche Auflösung von weniger als 20 μm haben. Gleichzeitig wird ihre Farbe erfaßt, denn eine der Hauptkompo-

¹ Es handelt sich um den 3D-Scan einer Seite aus dem „Book of Hours, Rouen, c. 1460“, der von A. Gardner, C. Tchou, T. Hawkins und P. Debevec unter dem Titel „Linear Light Source Reflectometry“, in: *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, hrsg. v. d. Association for Computing Machinery, New York 2003, 749–758 publiziert wurde.

zenten des 3D-Scanners stellt eine 5-Megapixel-Farbkamera dar². Für die 3D-Modelle von Keilschrifttafeln werden lage- und rotationsunabhangige Werte berechnet, mit denen sich Merkmale wie Schriftzeichen und Bruchflächen unterscheiden lassen. Diese Werte werden für verschieden große Details (Skalen) bestimmt. Das Verfahren wird in der Mustererkennung als „Multi-Scale Integral Invariante“ (MSII) bezeichnet³. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß es verschiedene Arten an Krümmungen schätzt, wie etwa die gaußsche und mittlere Krummung⁴. Das ist deshalb von Bedeutung, weil beim Eindrücken der Keilschriftzeichen in den lederharten Ton durch den Stylus Kanten entstehen, die charakteristische Krümmungen besitzen. Mit diesen lassen sich automatische Umzeichnungen erstellen, die mit den traditionellen, in der Assyriologie gebräuchlichen Handzeichnungen vergleichbar sind. Mit dem Verfahren wurden bereits ungefähr 200 neuassyrische Keilschrifttafeln aus dem Vorderasiatischen Museum Berlin für die Publikation in der Reihe „Keilschrifttexte aus Assur literarischen Inhalts“ (KAL) vorbereitet.

Als ein Beispiel sei auf nachfolgende Abbildung einer bereits publizierten Keilschrifttafel (Inv. Nr. W 51617) aus der Sammlung des Heidelberger Seminars für Sprachen und Kulturen des Vorderen Orients (SSKVO) verwiesen:



Durch den Einsatz von 3D-Technologie ergeben sich analog zum Arbeitsablauf der Textbearbeitung zwei Arten der Dokumentation:

1. Das 3D-Modell, das zur virtuellen Autopsie verwendet werden kann. Es ist nämlich möglich, das Objekt verschiedenen Beleuchtungen auszusetzen und – da es beliebig positionierbar ist – aus allen möglichen Perspektiven zu betrachten. Eine weitere Darstellungsoption erlaubt es, der Oberfläche andere Materialeigenschaften, wie etwa metallischen Glanz, zuzuweisen, womit Details wie z.B. Siegelabdrucke

² Vgl. Ch. Bathow, B. Breuckmann, R. Scopigno, Verification and Acceptance Tests for High Definition 3D Surface Scanners, in: A. Artusi, M. Joly, G. Lucet, D. Pitzalis, A. Ribes (Hrsg.), *VAST 2010: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, Eurographics Association, Paris 2010, 1–8.

³ Vgl. H. Mara, S. Kromker, S. Jakob, B. Breuckmann, GigaMesh and Gilgamesh — 3D Multiscale Integral Invariant Cuneiform Character Extraction, in: Artusi, Joly, Lucet, Pitzalis, Ribes (Hrsg.), *VAST 2010* (s. o. Anm. 2) 131–138 und H. Mara, *Multi-Scale Integral Invariants for Robust Character Extraction from Irregular Polygon Mesh Data*, Diss. Heidelberg 2012.

⁴ Vgl. dazu z. B. W. Kühnel, *Differentialgeometrie. Kurven – Flächen – Mannigfaltigkeiten*, 5. Aufl., Wiesbaden 2010, 81.

ansatzweise sichtbar gemacht werden können. Ferner ist es möglich, Krümmungen und Höhenunterschiede auf der Schriftfläche farblich darzustellen.

2. Die 2-dimensionale Projektion des Objektes als Bild. Das setzt die jederzeit gegebene Option voraus, die zuvor angesprochenen variablen Ansichten als Bilddatei abzuspeichern. Dadurch ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, die Geometrie der Oberfläche bildlich darzustellen. Die hergestellten Abbildungen sind maßstabsgetreu und frei von Tiefenunschärfen. Es sind auch keine Verzerrungen vorhanden, wie sie von Photos bekannt sind. Im Bereich der archäologischen Dokumentation kleiner Objekte entspricht die räumliche Auflösung des 3D-Scanners in der 2D-Projektion bis zu 800 DPI; technisch möglich sind bislang bis zu 3000 DPI bei optischen Verfahren.

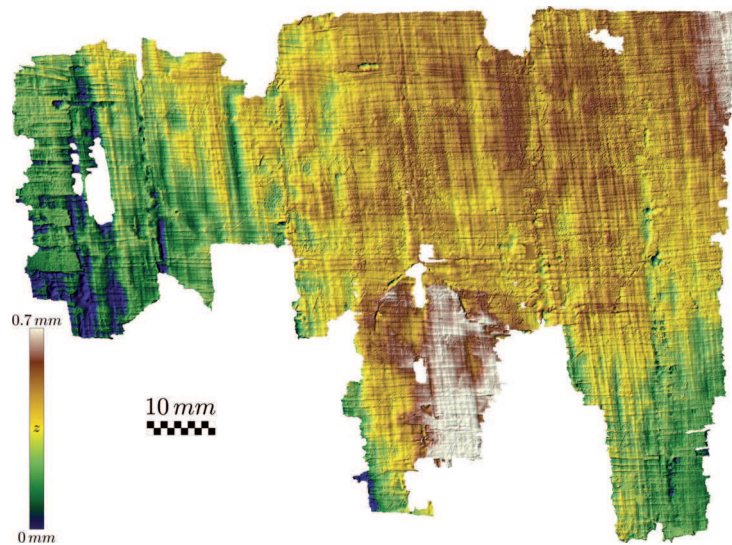
2. 3D-Scan eines Papyrus

Bei dem eingescannten Papyrus handelt es sich um ein noch unpubliziertes Stück aus der Heidelberger Papyrussammlung, dem die Inventarnummer G 111 zugewiesen ist. Erhalten ist das neun Zeilen umfassende Fragment eines an einen ehemaligen ὑπομνηματογράφος und εἰρηνάρχης adressierten Schreibens (Z. 1–2), dessen genaue Identifikation noch nicht gelungen ist. Das liegt vor allem an den Lücken und Beschädigungen, die der Text ab Z. 3 aufweist. Aufgrund seines Erhaltungszustandes und seiner geringen Größe erschien dieser Papyrus für unser Vorhaben besonders geeignet zu sein.

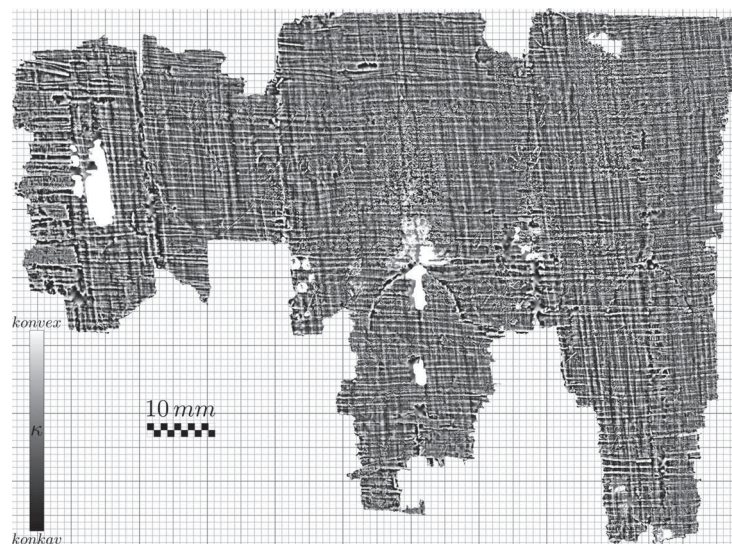
Zur Aufnahme wurde ein Breuckmann smartSCAN-3D-HE 3D-Scanner mit einer Meßfelddiagonale von 60 mm verwendet. Da das Objekt zwischen zwei Plastikplatten aufbewahrt wird, es für die Aufnahme aber notwendig war, die Schriftfläche freizulegen, wurde die obere Platte vor dem Scanvorgang entfernt. Anschließend wurden sechs Aufnahmen in weniger als fünf Minuten gemacht. Das dabei gewonnene 3D-Modell besteht aus 7 Mio. Meßpunkten auf dem 52,2 cm² großen Papyrus. Auf dieser Grundlage wurden die Krümmungen der Oberfläche mit dem MSII-Filter und im wesentlichen folgende drei Abbildungen mit dem Softwareframework GigaMesh berechnet:



Dargestellt wird das größtenteils virtuell mit Streiflicht beleuchtete und metallisch eingefärbte 3D-Modell.



Dargestellt werden die Höhenunterschiede des Papyrus im Verhältnis zu einer idealen Ebene. Hierfür wurde eine Farbskala aus der Geographie verwendet, bei der blaue und grüne Bereiche eine geringe, gelbe eine mittlere und rote und weiße eine große Höhe darstellen.



Dargestellt wird das Ergebnis nach Anwendung des MSII-Filters. Visualisiert werden konkave und konvexe Bereiche als schwarz-weiße Bereiche.

3. Ergebnis

Aus den vorangestellten Abbildungen läßt sich zunächst ableiten, daß anhand der vorgenommenen Messung keine auf die Tinte und/oder den Schreibvorgang zurückzuführenden geometrischen Spuren nachgewiesen werden können; nicht einmal auf der mit Hilfe des MSII-Filters erstellten Abbildung sind Buchstaben erkennbar⁵. Allerdings liefern die durch den MSII-Filter sichtbar gemachten Strukturen einen „numerischen Fingerabdruck“ des Papyrus. Denn die Streifenstruktur des Papyrus tritt klar und maßstabsgetreu hervor, so daß die einzelnen Fasern bis in das kleinste Detail dokumentiert sind, was deren exakte Vermessung ermöglicht.

⁵ Die Schrift wird zwar ansatzweise sichtbar, allerdings handelt es sich dabei um einen systembedingten Meßfehler: Starke Hell-Dunkel-Übergänge an einer flachen Objektoberfläche führen zu kleinen Meßfehlern und damit zu Erhebungen im 3D-Modell, die am Objekt nicht vorhanden sind.

Was die Papyrologie anbelangt, scheint der Nutzen der 3D-Technologie somit vorläufig hauptsächlich in der Dokumentation der äußeren Beschaffenheit der Oberfläche des Papyrus zu liegen. Das könnte neue Möglichkeiten bei der Zusammenführung von Fragmenten eröffnen: Die Zusammengehörigkeit der Stücke vermag nämlich objektiv und zweifelsfrei bestätigt zu werden, und deren Aneinanderfügung wäre virtuell durchführbar. Das würde vor allem die Vervollständigung eines Textes, dessen Teile in unterschiedlichen Sammlungen aufbewahrt werden, wesentlich erleichtern und beschleunigen. Generell und daran anknüpfend ist zu bemerken, daß die Einbindung von 3D-Meßtechnik gerade bei der Restaurierung von Papyri zu einem wichtigen Werkzeug werden könnte, zumal auch Faltungen, Klebungen und andere Veränderungen der Oberfläche (etwa Siegelspuren) auf einen Blick zu erkennen sind. In diesem Kontext könnte die Erforschung der Herstellungsweise und der unterschiedlichen Qualität der Papyri neue Impulse erfahren.

Schließlich würden uns die 3D-Modelle – wie im Fall der Keilschrifttafeln – auch im Bereich der Papyrologie ein Arbeitsinstrument an die Hand geben, das den Zugriff auf das Original kaum mehr erforderlich machen würde. Zumindest unterliegt es kaum einem Zweifel, daß das maßstabsgetreue, hochauflösende und vielseitig auswertbare 3D-Modell, das die Farbinformation mit den geometrischen Oberflächenbeschaffenheiten vereint und zudem aus allen möglichen Blickwinkeln betrachtet werden kann, in der Zukunft bei der Bearbeitung von Papyri das althergebrachte Photo ersetzen wird. Einen ersten Schritt in diese Richtung hat bei der originalgetreuen Darstellung von Ostraka bereits die Leipziger Papyrussammlung gemacht, die unter <http://papyri.uni-leipzig.de> von einigen Stücken 3D-Simulationen zur Verfügung stellt. Schließlich sei auch angemerkt, daß das 3D-Meßverfahren aufgrund der Möglichkeit, Höhenunterschiede auf einer Oberfläche mit großer Präzision zu erfassen, gute Ergebnisse bei der Entzifferung von Wachstafeln bringen könnte – was in Zukunft noch zu erproben wäre.⁶

Hubert Mara, Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen, Visualization and Numerical Geometry Group, Im Neuenheimer Feld 368, 69120 Heidelberg
hubert.mara@iwr.uni-heidelberg.de

Patrick Sänger, Zentrum für Altertumswissenschaften, Institut für Papyrologie, Marstallstr. 6, 69117 Heidelberg
patrick.saenger@zaw.uni-heidelberg.de

⁶ Die Farbabbildungen in diesem Beitrag wurden möglich gemacht, weil das Interdisziplinäre Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) die Mehrkosten dafür übernahm.