

Visualisierung und hochaufgelöste 3D Rekonstruktion der Steinbildwerke vom Tell Halaf, Syrien

Visualization and High Definition 3D Reconstruction of Stone Figures from Tell Halaf, Syria

Bernd Breuckmann

Breuckmann GmbH, Torenstr. 14, D-88709 Meersburg, Germany

Tel: +49 7532 4346 0, Fax: +49 7532 4346 50,

E-Mail: bernd.breuckmann@breuckmann.com, Internet: www.breuckmann.com

Karsten Malige

Ingenieurbüro Malige, Vermessung & Geoinformation, Bachstr. 1, D-76461 Muggensturm,
Germany

Tel: +49 7222 5461, Fax: +49 7222 5466

E-Mail: km_ingbuero@malige.de, Internet: www.malige.de

Zusammenfassung

Den von Max von Oppenheim im Jahre 1899 entdeckten, im 2. Weltkrieg zerstörten und in den vergangenen 10 Jahren aus ca. 27.000 Einzelteilen restaurierten Steinbildwerken vom Tell Halaf, Syrien, wurde im Jahre 2011 eine Sonderausstellung im Pergamonmuseum gewidmet. Diese Ausstellung wurde mit einem terrestrischen Laserscanner vermessungstechnisch aufgenommen und konserviert und ist somit auch in Zukunft virtuell zugänglich. Zusätzlich wurde begonnen, eine hochaufgelöste 3D Dokumentation der Steinbildwerke zu erstellen. Dazu wurden ausgewählte Figuren mit hoher Auflösung gescannt. Die so entstandenen maßstabsgerechten 3D Modelle ermöglichen insbesondere eine objektive Visualisierung und quantitative Analyse der Steinbildwerke.

Abstract

In 1899 Max von Oppenheim discovered monumental stone figures at the Tell Halaf, Syria. They were destroyed during the 2. World war and restored from about 27.000 single fragment within the last 10 years. The Pergamon Museum displayed these unique stone figures in a special exhibition in 2011. As this exhibition was digitized by means of a terrestrial laser scanner, it is available as a virtual 3D documentation for the future. Moreover, a high definition 3D documentation of the single stone figures has been started, based on high resolution scans of selected figures. The generated true to scale 3D models allow an objective visualization and quantitative analysis of the stone figures.

1. Historischer und archäologischer Hintergrund

Im Jahre 1899 entdeckte der aus einer reichen Bankiersfamilie stammende deutsche Diplomat und Privatgelehrte Max Freiherr von Oppenheim auf dem Tell Halaf in Syrien (dem aramäischen Guzana, heute einer der bekanntesten Siedlungshügel Vorderasiens) beeindruckende Steinbildwerke. Nach umfangreichen Vorbereitungen führte er in den Jahren 1911 bis 1913 eine archäologische Ausgrabung durch, auf die 1929 eine weitere kurze Kampagne folgte. Dabei brachte er eine große Anzahl bedeutender Bildwerke aus dem 1. Jahrtausend v.Chr. zutage, worunter auch drei als Säulen dienende Monumentalstatuen von Göttern waren, deren Nachbildung heute den Eingang zum Nationalmuseum in Aleppo ziert. Der Tell Halaf ist namengebender Fundort einer wichtigen prähistorischen Kultur Nordmesopotamiens (ca. 6000 – 5300 v. Chr.) – der sog. „Halaf-Zeit“.

Nach einer Fundteilung im Jahre 1927 überführte Max von Oppenheim 1928 die weltweit einmaligen Bildwerke nach Berlin und stellte sie dort in einem eigenen Museum aus. Im zweiten

Weltkrieg wurden mit dem Museum auch die Steinbildwerke bei einem Bombenangriff zerstört. Auch wenn die Bruchstücke vom damaligen Direktor der Vorderasiatischen Abteilung der Staatlichen Museen zu Berlin (SMB), Walter Andrae, geborgen und im Keller des Pergamonmuseums gelagert wurden, so galten die Steinbildwerke als für immer zerstört und nicht restaurierbar. Bis eine Gruppe von Wissenschaftlern und Restauratoren unter Leitung von Nadja Cholidis, Lutz Martin und Stefan Geismeyer (Vorderasiatisches Museum, SMB) die mehr als 27.000 Bruchstücke in einem bisher nicht dagewesenen Projekt innerhalb von ca. 10 Jahren in hervorragender Qualität restaurierte. Von Januar bis August 2011 widmete das Pergamonmuseum den wiedergewonnenen Steinbildwerken sowie Max von Oppenheim eine beeindruckende und außerordentlich gut besuchte Sonderausstellung.

2. Zielsetzungen

Die Sonderausstellung im Pergamonmuseum war aus mehreren Gründen einmalig und nicht wiederholbar. So entstand die Idee, diese mit einem terrestrischen Laserscanner 3-dimensional und in Echtfarben vermessungstechnisch zu konservieren und für die Nachwelt zu erhalten. Ziel war unter anderem, eine neuartige Form der Konservierung zu entwickeln, dabei auch Erfahrungen zu sammeln und ein Gespür zu erlangen für die besonderen Begebenheiten einer solchen Ausstellung. Es sollte ermöglicht werden, sich mit geeigneter Software jederzeit durch die Ausstellung zu bewegen bzw. einzelne Objekte im Detail zu betrachten. Ein Hauptziel war – auch ohne Spezialsoftware, beispielsweise mittels Internetplattformen der SMB - durch sogenannte „Durchflüge“ die Ausstellung wieder erlebbar zu machen und auch kuratorisch sowie museumspädagogisch neue Wege zu gehen.

Ein weiteres wesentliches Ziel der durchgeführten Arbeiten war eine 3D-Dokumentation und objektive Visualisierung der Detailstrukturen der gescannten Figuren. Im Gegensatz zu einer fotografischen, d.h. 2-dimensionalen Dokumentation, die in starkem Maße abhängig ist vom vorhandenen Umgebungslicht oder - bei künstlicher Ausleuchtung - von der Erfahrung und gegebenenfalls den Erwartungen der dokumentierenden Person, hat bei einer 3D-Dokumentation die Ausleuchtung des Objektes während der Aufnahme keinen Einfluss auf die Erfassung der 3D-Geometrie. Vielmehr kann eine geeignete Ausleuchtung am 3D-Modell virtuell erfolgen, sodass auf diese Weise eine objektive und optimale Visualisierung von Detailstrukturen möglich ist.

3. Durchgeführte Arbeiten

Im Juli 2011 wurde die gesamte Ausstellung mit dem terrestrischen Laser Scanner Focus 3D der Firma FARO von 75 Scanner-Standpunkten aus erfasst. Anschließend wurden die Scans mit FARO SCENE über entsprechende Messmarken registriert und referenziert, so dass in der so erzeugten Gesamtpunktwolke von einer mittleren Punktgenauigkeit von wenigen Millimetern ausgegangen werden kann. Im Anschluss erfolgte eine Nachbearbeitung (v.a. manuelle Entfernung der Auswirkungen von Messrauschen, Spiegel- und Kanteneffekten) der Scans in FARO SCENE sowie eine Generierung einzelner Durchflüge in der Software Pointools. Die Durchführung der Scans dauerte, erschwert durch den Publikumsverkehr der laufenden Ausstellung, 3 Tage; Registrierung, Auswertung und Generierung erster Durchflüge ca. 8 Wochen.

Außerdem wurden im Februar 2012 im Außendepot des Vorderasiatischen Museums in Berlin-Friedrichshagen folgende Objekte hochauflösend digitalisiert:

- Die Große Grabfigur; A. Moortgat 1955: A1; Inventar-Nr. TH B 1
- Der nach rechts schreitende Löwe; A. Moortgat 1955: Ba,3; Inventar-Nr. TH B 14
- Der Bereich einer Inschrift an der Göttin, A. Moortgat 1955: Bc6

Für alle high-definition Scans wurde das smartSCAN^{3D} 5C System (siehe Abb. 1) der Firma Breuckmann verwendet. Die wichtigsten Systemspezifikationen dieses Systems sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

System-Parameter	smartSCAN ^{3D} 5C
Verfügbare Meßfelder (FOV)	30 - 1500 mm
Kamera	2 CCD Farb-Kameras, je 5 MP
Verfügbare Lichtquellen	100 bzw. 250 W Halogen, 50W LED
Sensorgewicht	ca. 4 kg
Arbeitsabstand	370 - 1500 mm (abh. vom FOV)
min. Aufnahmezeit	ca. 1 sec
X,Y- Auflösung	10 - 500 µm
Tiefen-Auflösung	1 - 30 µm



Tabelle 1: Spezifikationen des smartSCAN^{3D} 5C Systems

Abb. 1: Das smartSCAN^{3D} System

Im Rahmen des Projektes wurden Messfelder mit einer Bilddiagonalen von 825 bzw. 475 mm eingesetzt, was bei einer Kamera-Auflösung von 5 MPixel einer lateralen Auflösung von 0.3 bzw. 0.15 mm entspricht. Alle Scan-Arbeiten wurden an 2 Tagen mit einem Gesamtaufwand von ca. 8 Stunden zzgl. Auf-/Abbau des Scan-Equipments (ca. 2 Std.) realisiert. Diese Zeiten beinhalten das Registrieren aller Einzelscans sowie die Berechnung eines 3D-Modells im Preview-Mode.

Im Einzelnen wurden folgende Scan-Arbeiten durchgeführt:

- Große Grabfigur: 73 Aufnahmen mit FOV 825 mm, Auflösung 0.3 mm, Scanzeit ca. 240 min.
42 Aufnahmen mit FOV 475 mm, Auflösung 0.15 mm, Scanzeit ca. 100 min.
- Schreitender Löwe: 30 Aufnahmen mit FOV 825 mm, Auflösung 0.3 mm, Scanzeit ca. 80 min.
- Grabinschrift : 2 Aufnahmen mit FOV 475 mm, Auflösung 0.15 mm, Scanzeit ca. 5 min.

4. Ergebnisse

Die Auswertung der terrestrischen Scans brachte noch einmal neue Perspektiven auf die ohnehin interessante Ausstellung und ihre Exponate. Da nur das vom jeweiligen Scanstandpunkt aus Sichtbare gescannt wird, fehlen die Rück- bzw. Unter- und Oberansichten der gescannten Objekte komplett, ebenso verdeckte Raumelemente (Abbildung 2).

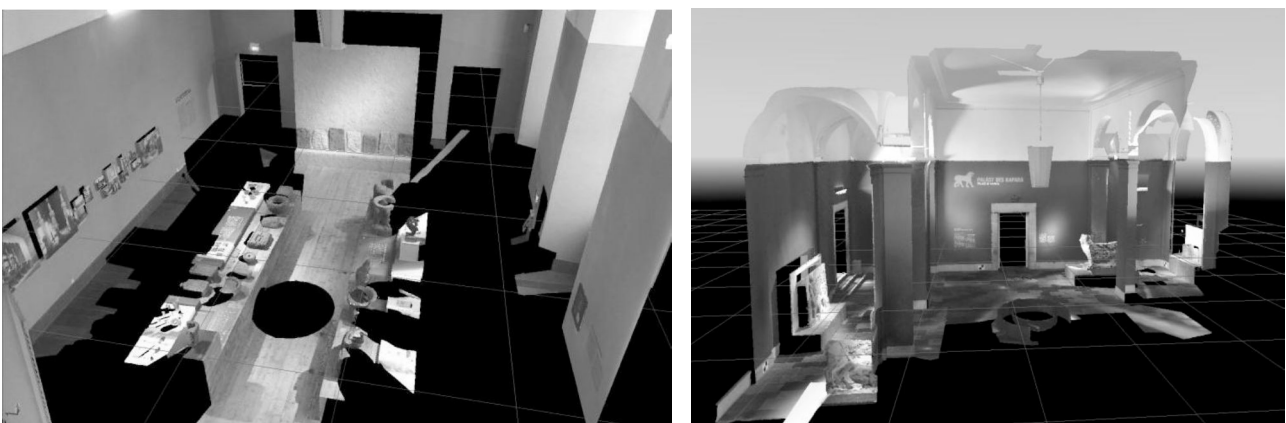


Abb. 2 : Links der Raum *Tell-Halaf-Museum*, rechts der Raum *Palast des Kapara*

Dieser Umstand ist systembedingt und bei herkömmlichen Anwendungen des terrestrischen Laserscanners nicht problematisch - durch wiederholtes Umstellen des Scanners werden die zu scannenden Objekte nach und nach möglichst vollständig erfasst und so ausreichend Daten gesammelt für die Erzeugung von Grundrissen, Ansichten, Schnitten, 3D-Nachbildungen uvm..

Hier war das Ziel aber vorrangig eine optisch ansprechende Visualisierung ohne Hinterschneidungen, Lücken und mit möglichst homogener Farbstruktur. Bei eng gestellten Exponaten musste aufgrund des unverhältnismäßigen Arbeitsaufwandes auf eine hohe Anzahl unterschiedlicher Scannerstandpunkte verzichtet werden, dies gilt nicht für die Hauptexponate wie der großen Grabfigur oder den Steinbildwerken im *Palast des Kapara*. Das Umstellen des Scanners und „Betrachten“ des Raumes und der Exponate aus verschiedenen Höhen und Lagen bewirkte eine unterschiedliche Farbgebung der einzelnen Punktwolken. War der einzelne Scan in sich homogen, so war die Verknüpfung mehrerer Scans durch die unterschiedliche Ausleuchtung und Lichtintensität am jeweiligen Scannerstandpunkt inhomogen (Abbildung 3.1). Dieser Effekt wurde durch die große Anzahl an Strahlern, Fenstern, Vitrinen und verspiegelten Flächen in den Ausstellungsräumen teilweise noch verstärkt. Durch verschiedene Techniken während der Auswertung wurde versucht, dies zu minimieren; zukünftige Auswertungen werden weitere Verbesserungen ermöglichen. Auch eine Visualisierung einzelner Steinbildwerke (Abbildung 3.2) und Verknüpfungen mit Streifenlichtscans wird in Zukunft mit sich stetig weiter entwickelnder Software möglich sein.

Erste Durchflüge sind fertiggestellt und es ist geplant, diese u.a. auf Internetplattformen der SMB zu präsentieren, ebenso auf www.malige.de. Im Vortrag und in der begleitenden Ausstellung werden Filme bzw. Filmausschnitte gezeigt.

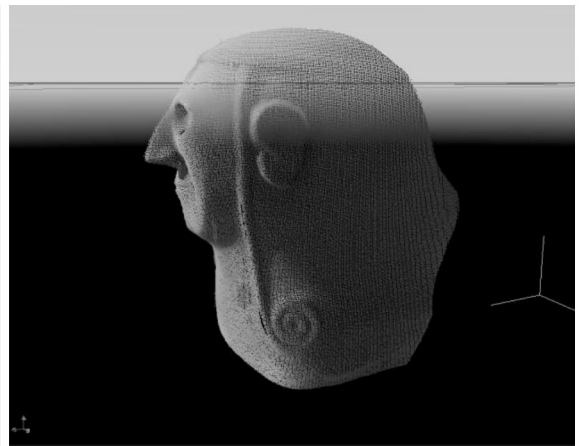


Abb. 3.1: *Tell-Halaf-Museum*, Inhomogenität der Punkteinfärbung nach Verknüpfung mehrerer Scans

Abb. 3.2: Kopf der westl. Sphinx (Konstruktion; Bb,2; Inv.-Nr. VA 8980)

Abbildung 4 zeigt die große Grabfigur links vor ihrer Zerstörung, in der Mitte nach der Rekonstruktion und rechts als 3D Modell, das aus den jetzt aufgenommenen Scandaten erzeugt wurde. Die unterschiedlichen Proportionen der gezeigten Darstellungen resultieren aus verschiedenen Perspektiven der gezeigten Ansicht; dabei ist zu beachten, dass die Visualisierung der 3D Daten immer in einem definierten und bekannten Koordinatensystem erfolgt. Die Definition des Koordinatensystems kann wahlweise objektbezogen (lokale Koordinaten) oder in Relation zu extern definierten Koordinaten (sog. übergeordnetes Koordinaten-System) erfolgen.

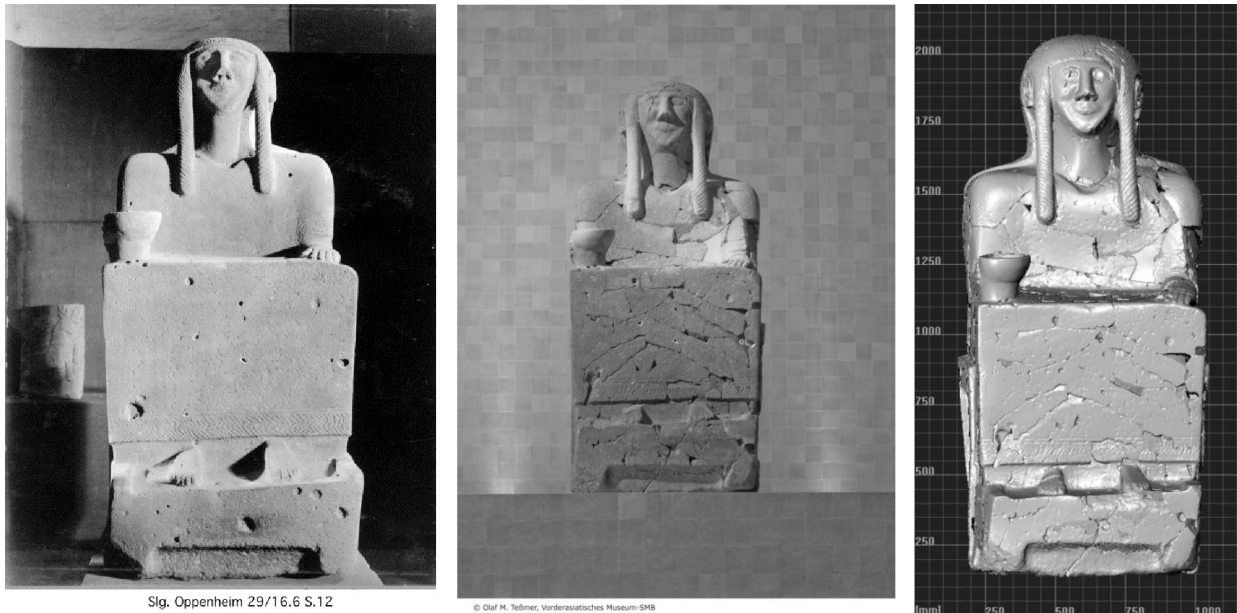


Abb. 4: Die Große Grabfigur links (Foto: Nachlass Max von Oppenheim. Copyright Max von Oppenheim-Stiftung, Köln) vor ihrer Zerstörung, in der Mitte nach der Rekonstruktion (Foto: Olaf M. Tessmer, SMB) und rechts als 3D Modell

Abbildung 5 zeigt Detailstrukturen des 3D-Modells und demonstriert die Möglichkeit, aus dem 3D-Modell, d.h. insbesondere ohne Berührung des Objektes, auch an schwer zugänglichen Stellen hochgenaue quantitative Maße abzunehmen.

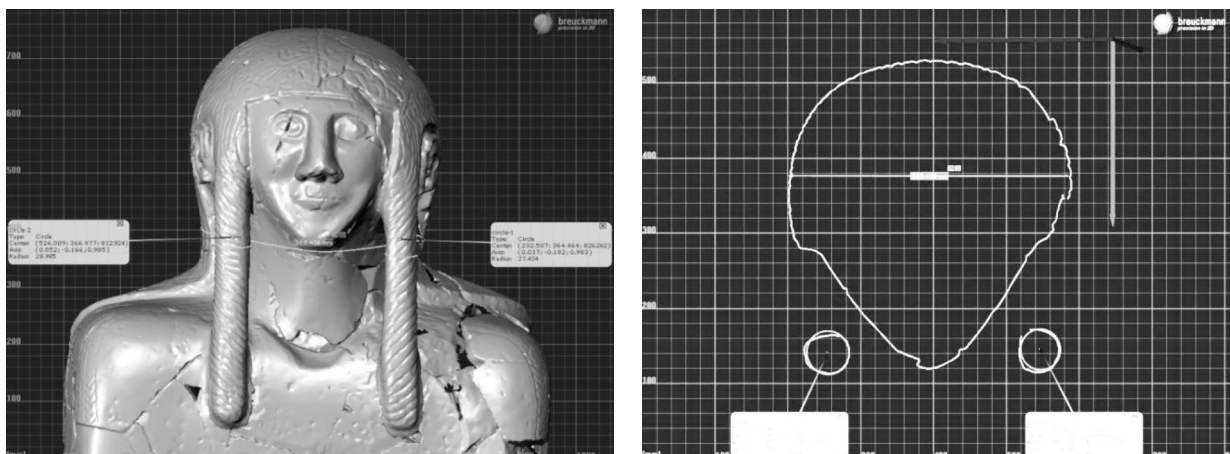


Abb. 5: Details der Grabfigur und quantitatives Messen am virtuellen Objekt (Schnitt)

Durch Ausblenden der Oberflächentextur und softwaremäßiges Schärfen der 3D-Strukturen können in der virtuellen Visualisierung von 3D-Modellen auch Detailstrukturen mit einer Deutlichkeit dargestellt werden, die am physikalischen Modell, wenn überhaupt, nur unter speziellen Beleuchtungsbedingungen möglich ist (siehe Abbildung 6).

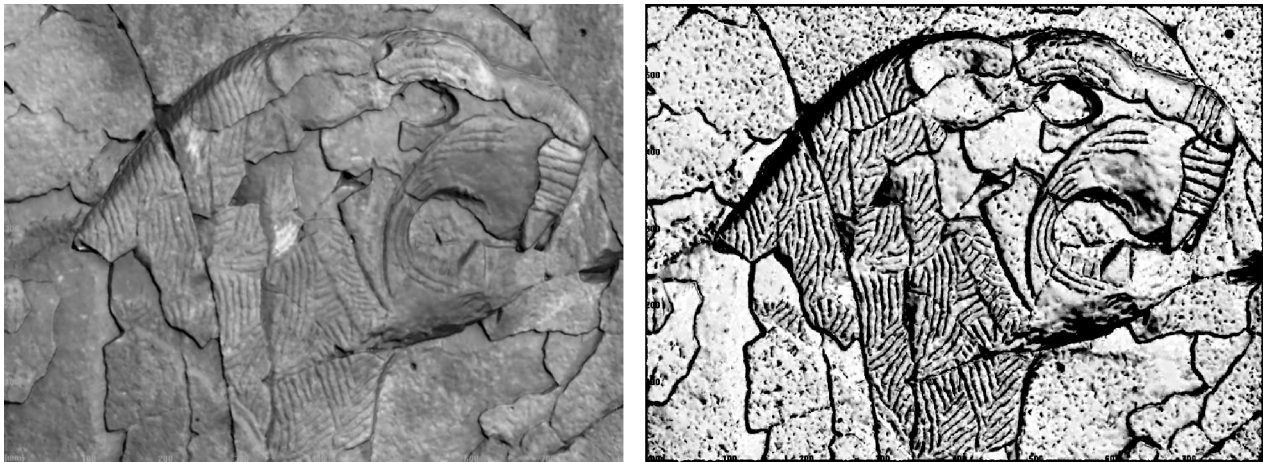


Abb. 6: Der Kopf des schreitenden Löwen: Im rechten Bild (3D Modell ohne Textur) ist das 3D Relief der Oberfläche wesentlich besser zu erkennen als in einer Darstellung mit überlagerter Textur

Auf gewölbten Oberflächen ist es selbst unter optimalen Beleuchtungsbedingungen schwierig, alle interessierenden Bereiche in einem Bild darzustellen. Im 3D-Modell ist es möglich, die Wölbung der Oberfläche softwaremäßig auszugleichen (virtuelles Abrollen) und so Detailstrukturen, z.B. Inschriften oder Gravuren, sichtbar zu machen. In Abbildung 7 ist dies anhand einer Inschrift auf der Statue der Göttin demonstriert.

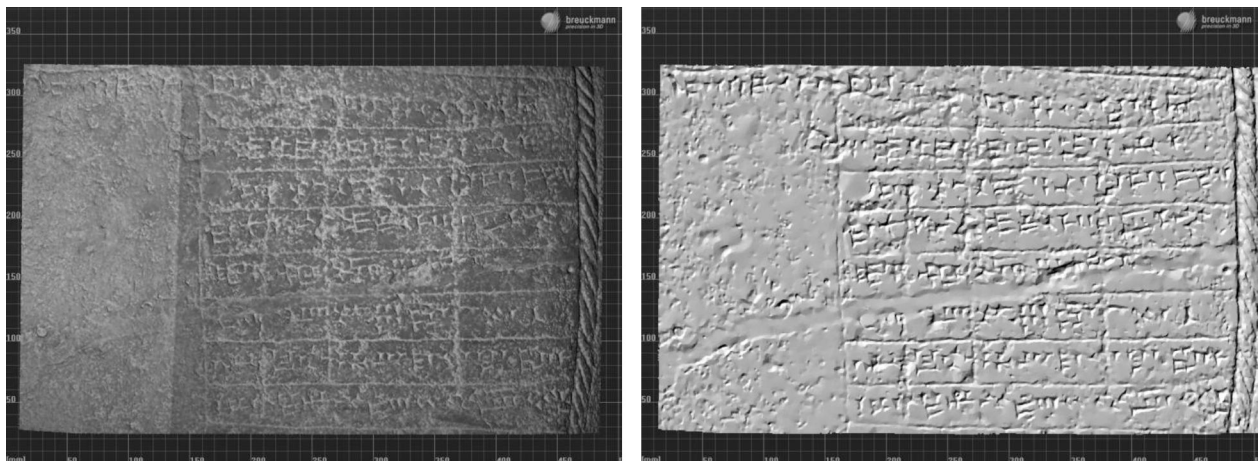


Abb. 7: Inschrift auf der Statue der Göttin: links das texturierte Bild auf der gewölbten Oberfläche, rechts die Visualisierung nach Ausblenden der Textur und virtuellem Abrollen

Danksagung

Wir danken Frau Dr. Nadja Cholidis (Vorderasiatisches Museum, SMB), wissenschaftliche Leiterin des Restaurierungsprojektes Tell Halaf und Herrn Dr. Lutz Martin (Vorderasiatisches Museum, SMB), Projektkoordinator des Restaurierungsprojektes und Grabungsleiter der aktuellen archäologischen Ausgrabung am Tell Halaf, Syrien, für ihre tatkräftige Unterstützung und Begeisterung.