

# Virtuelle Archäologie in Baden-Württemberg

## Von der wissenschaftlichen Dokumentation zur öffentlichen Web-Präsentation von 3-D-Modellen archäologischer Denkmale

*Die dreidimensionale Dokumentation mit verschiedenen 3-D-Scanverfahren ist zu einem regelhaft angewandten Instrument der baden-württembergischen Denkmalpflege geworden. Mittels 3-D-Modellen können archäologische Objekte auch nach Abschluss von Ausgrabungen analysiert und visualisiert werden. Neben der rein wissenschaftlichen Bedeutung bieten sie einen unschätzbaren Wert für die öffentliche Vermittlung von Denkmalen. Im Rahmen eines neuen Projekts des Landesamtes für Denkmalpflege werden 3-D-Modelle visuell aufbereitet, sodass sie frei drehbar auf den Internetseiten der Denkmalpflege präsentiert werden können. Bedeutende archäologische Denkmale Baden-Württembergs sowie die Anwendung moderner Technologien bei der wissenschaftlichen Dokumentation lassen sich damit eindrucksvoll veranschaulichen.*

Stephan M. Heidenreich

### Das öffentliche Interesse an Hightech

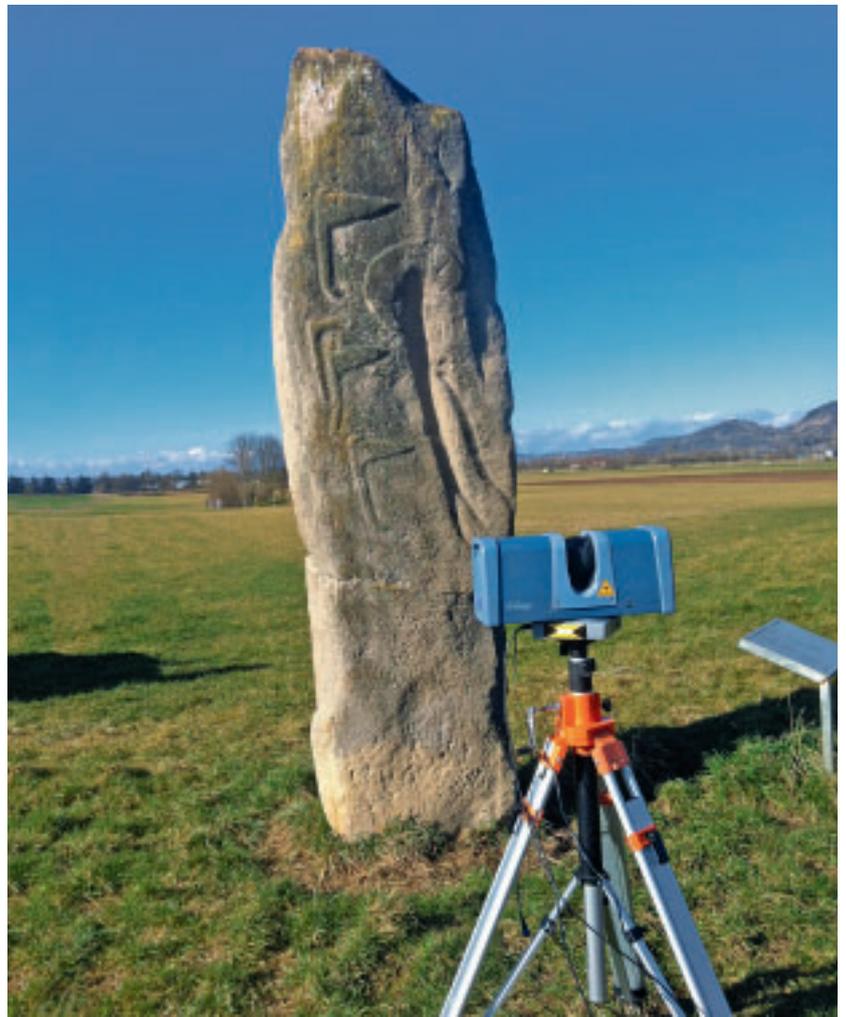
Seit einigen Jahren zeigt sich ein besonderes öffentliches Interesse an Hightech in der archäologischen Forschung. So vermitteln inzwischen viele Museen die Anwendung moderner Technologien als festen Bestandteil ihrer Dauer- beziehungsweise Sonderausstellungen – beginnend bei der Darstellung aktueller Methoden der Grabungsdokumentation bis hin zu „Forscherlaboren“, wo Besucher bei einer modernen wissenschaftlichen Untersuchung selbst Hand anlegen können.

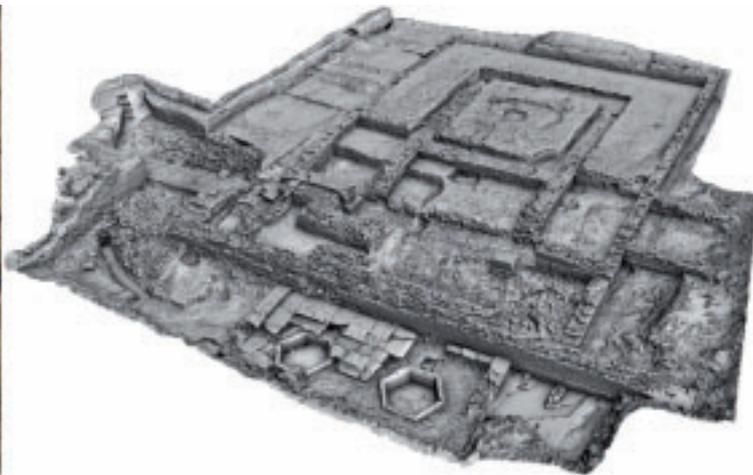
Bei der Vermittlung archäologisch-denkmalpflegerischer Arbeit bieten 3-D-Modelle einzigartige Möglichkeiten, da auch allgemeine Informationen zu den Denkmalen auf besondere Weise veranschaulicht werden können. Hierfür eignet sich eine Veröffentlichung über das Internet, sodass sich Interessierte verschiedene Objekte virtuell erschließen können. Diverse internationale Projekte wie zum Beispiel „Scottish Ten“, „3D COFORM“ oder „3D-ICONS“ führen die Chancen der dreidimensionalen Erfassung und Präsentation von Kulturdenkmalen eindrucksvoll vor Augen. In einem Pilotprojekt des Landesamtes für Denkmalpflege wird die in der deutschen Denkmalpflege einzigartige technische Ausstattung genutzt, um archäologische Objekte mit 3-D-Modellen öffentlich über das Internet zu präsentieren. Dafür ist jedoch eine entsprechende Aufbereitung der vor allem zu Zwecken der wissenschaftlichen Dokumentation gewonnenen Modelle notwendig.

### Der Ausgangspunkt: Millionen von Punkten und Polygonen

Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wird die gesamte Bandbreite der in der Landesdenkmalpflege zur Verfügung stehenden Technologien zur

*1 Die Vermessung der in Tübingen-Weilheim aufgestellten Kopie des bronzezeitlichen Menhirs mit einem Laserscanner.*





2 Der Apollo-Grannus-Tempel von Neuenstadt gehört zu den größeren von der Landesdenkmalpflege dreidimensional vermessenen Objekte.

dreidimensionalen Dokumentation archäologischer Objekte eingesetzt. Neben Laserscanning (Abb. 1) sind dies die Erfassung mittels eines Strukturlichtscanners und das so genannte SfM (englisch Structure from Motion), bei dem 3-D-Modelle aus Serien von Digitalfotos berechnet werden. Bei der Auswahl derjenigen Denkmale, die öffentlich im Internet gezeigt werden, wird auf ein ausgewogenes Spektrum geachtet. Neben kleineren und mittelgroßen Einzelobjekten (wie z. B. Stelen) werden auch größere Befunde mit Resten aufgehenden Mauerwerks (Abb. 2) oder gar Landschaftsmodelle gezeigt.

Auch wenn die Detailschärfe je nach eingesetzter Technologie variiert, so besitzen 3-D-Modelle generell eine hochkomplexe Geometrie. Sie haben sehr hohe Auflösungen und bestehen aus mehreren Millionen dreidimensional gemessenen Punkten. Damit ein 3-D-Modell mit einer geschlossenen Oberfläche entsteht, werden die dreidimensionalen Punktwolken zu Netzen aus Polygonen (in der Regel Dreiecke) verbunden. Abhängig von der Größe des Objekts bestehen die Modelle aus circa 5 000 000 (z. B. bei einer Statue), 50 000 000 (bei großflächigen Grabungsbefunden und aufgehenden

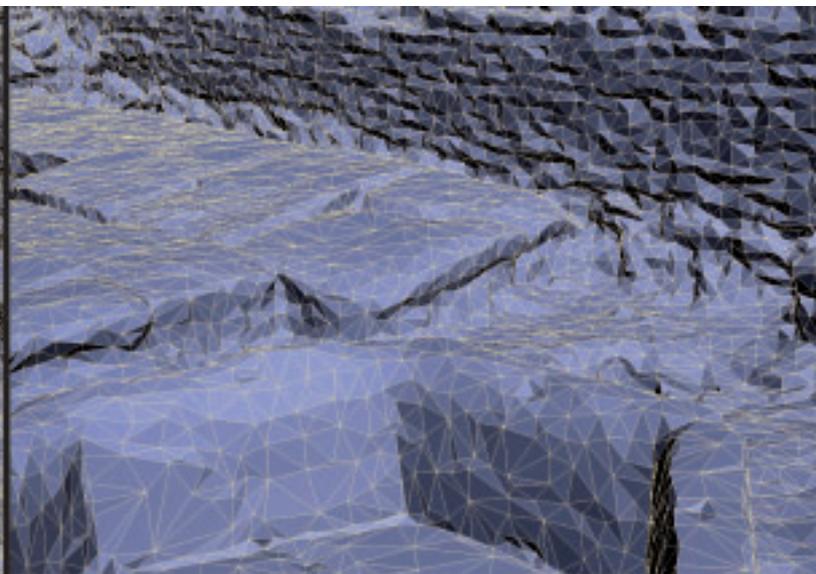
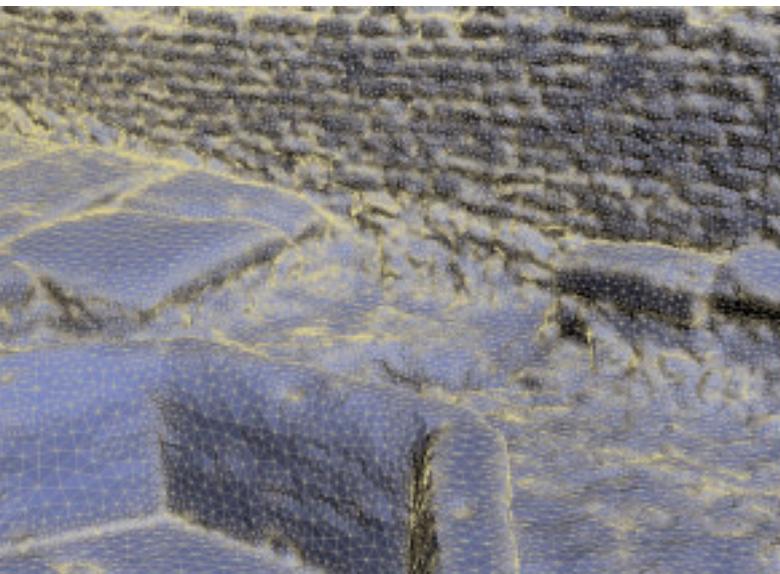
dem Mauerwerk) oder in Einzelfällen – wie etwa bei der Vermessung von Höhlen – sogar aus mehreren Hundert Millionen Polygonen.

### Reduktion der Geometrie und visuelle Aufbereitung

Damit die 3-D-Modelle „webtauglich“ werden und auch ohne hohe Rechnerkapazitäten und große Datenübertragungsraten darstellbar sind, erfolgt eine Überarbeitung in mehreren Schritten. Zunächst gilt es, die Geometrie zu reduzieren und somit die Datenmenge erheblich zu minimieren. Dieser Prozess ist jedoch in der Regel mit einem entscheidenden Verlust an Qualität verbunden. So wird zum Beispiel ein hochaufgelöstes 3-D-Modell eines Grabungsbefunds, das aus 50 000 000 Polygonen bestehen kann, für die Webpräsentation auf circa 500 000 bis 1 000 000 Polygone reduziert (also 1–2 Prozent der Originalgröße; Abb. 3).

Um den damit verbundenen Detailverlust abzufedern, stehen einige Techniken der visuellen Aufbereitung zur Verfügung. Hierzu gehören Farb- und/oder Licht-Schatten-Texturen, die von einem hochaufgelösten Modell gewonnen und auf dem

3 Detail des rechten (östlichen) Wasserbeckens des Apollo-Grannus-Tempels von Neuenstadt, links im hochaufgelösten und rechts im reduzierten 3-D-Modell. Die gelben Linien markieren die einzelnen Polygone.



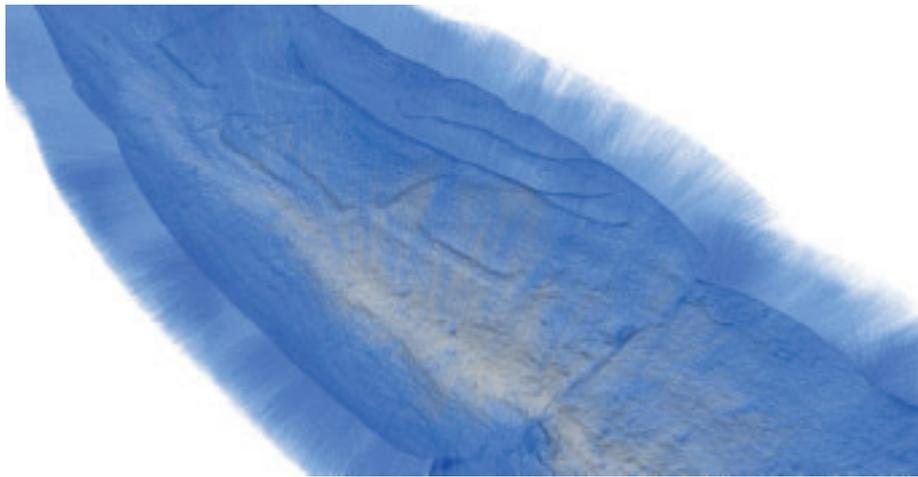
reduzierten Modell abgebildet werden können. Dazu wird ein reduziertes Modell zunächst auf eine zweidimensionale Ebene aufgefaltet, wobei die einzelnen Polygone erhalten bleiben. Diesen Schritt kann man sich wie das Auffalten eines zusammengeknüllten Papierblattes vorstellen: Das zerknüllte Papier mit den einzelnen Falten entspricht dem 3-D-Modell mit seiner Vielzahl an Polygonen; wenn man es auffaltet, sind in der zweidimensionalen Ebene noch die Falten der zuvor dreidimensionalen Papierkugel zu sehen.

Diesem aufgefalteten Blatt wird ein zweidimensionales Koordinatensystem zugrunde gelegt. Nach der Bezeichnung der Achsen dieses Systems (U und V in Abgrenzung von der ansonsten üblichen XY-Bezeichnung) nennt man es „UV-Map“. Der englische Begriff „Map“ (= Karte) kennzeichnet hier, dass jede Koordinate dieses zweidimensionalen Systems eine Stelle auf dem dreidimensionalen Objekt markiert.

Nun ist es möglich, mithilfe der UV-Map Attribute wie zum Beispiel Licht und Schatten von einem hochaufgelösten Modell auf ein reduziertes zu projizieren.

Auf diese Weise werden so genannte Normalen-Maps sowie Texturen für die reduzierten Modelle erstellt. Die Normalenvektoren eines 3-D-Modells definieren unter anderem Vorder- und Rückseiten einer Geometrie und werden zur Berechnung von Licht und Schatten benötigt (Abb. 4). Auf Grundlage der UV-Map können die Normalen eines hochaufgelösten Modells in Farbwerte „codiert“ gespeichert und schließlich auf dem reduzierten Modell abgebildet werden, womit Schatteneffekte einer hochaufgelösten Geometrie auf einem reduzierten Modell erzeugt werden (Abb. 5).

Nach dem gleichen Prinzip können Farb- und Licht-Schatten-Texturen erstellt werden, die Effekte eines hochaufgelösten auf einem reduzierten Modell abbilden. Zur Verstärkung von Licht- und Schatten-

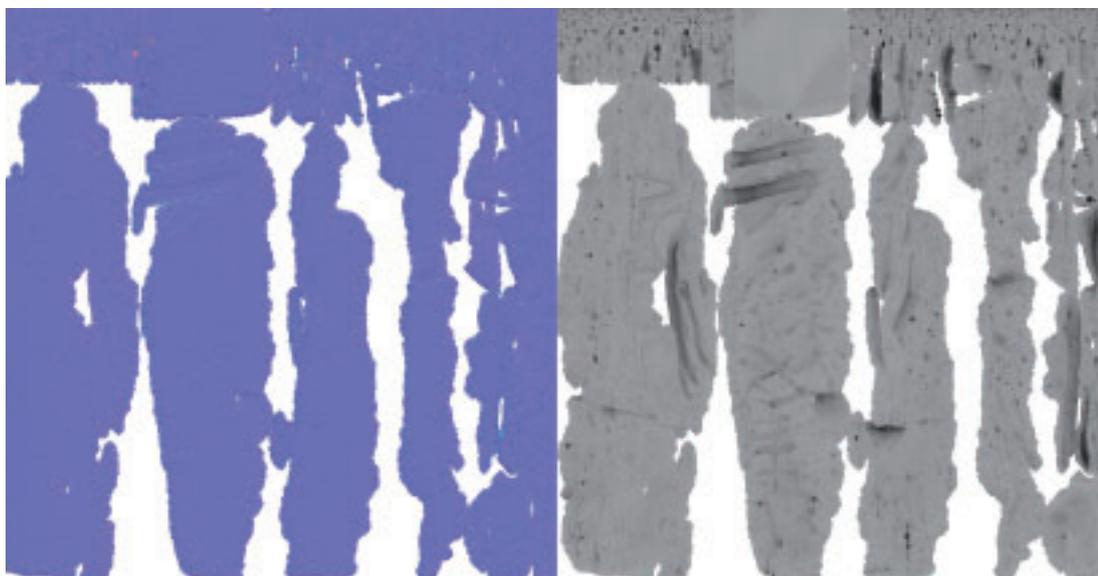


effekten bietet sich eine Textur mit so genannter Umgebungsverdeckung an (englisch Ambient Occlusion; Abb. 5). Dadurch entsteht eine ideale Verschattung eines Modells unabhängig von Lichtquellen.

#### Ergebnis: Die öffentliche Präsentation im Web

Schließlich wird ein Datenpaket bestehend aus einem reduzierten Modell mit entsprechenden Texturen beim Anbieter Sketchfab hochgeladen. Das Ergebnis ist ein frei drehbares Modell, das in seiner Geometrie zwar deutlich reduziert ist, aufgrund der angewandten Visualisierungstechniken aber viele Details eines hochaufgelösten Modells wiedergibt (Abb. 6). Auf der Website des Landesamtes für Denkmalpflege werden die Sketchfab-Viewfenster dann in „Steckbriefe“ der jeweiligen Denkmale eingebunden. Neben der Betrachtung der 3-D-Modelle können sich Interessierte durch kurze Infotexte und Abbildungen zu den präsentierten Objekten sowie über den archäologischen und forschungsgeschichtlichen Kontext informieren (Abb. 7). Bisher veröffentlicht sind etwa die Höhlen

4 Der Blick auf den zentralen Teil des Menhirs von Tübingen-Weilheim zeigt, wie die Normalenvektoren (blaue Linien) eines 3-D-Modells senkrecht auf jedem einzelnen Polygon stehen.



5 Menhir von Tübingen-Weilheim: Normalen-Map (links) und Ambient Occlusion-Textur (rechts) auf Basis der aufgefalteten UV-Map des reduzierten 3-D-Modells.

6 Das fertige Modell des Menhirs von Tübingen-Weilheim im Sketchfab-Viewer, wie es auf der Website des Landesamtes für Denkmalpflege erscheint.

7 Auf der Website der Landesdenkmalpflege ([www.denkmalpflege-bw.de](http://www.denkmalpflege-bw.de)) finden sich die 3-D-Modelle auf den Projektseiten der „Virtuellen Archäologie“ und sind dort in allgemeine Infotexte und Bilder der Denkmale eingebettet.

im Hohlenstein, der Menhir von Tübingen-Weilheim, die keltische Stele von Hirschlanden, ein Geländemodell des spätkeltischen Oppidums auf dem Heidengraben, der Apollo-Grannus-Tempel in Neuenstadt sowie die Pfistererei und die Rossmühle der Hochburg bei Emmendingen. Die Projektseiten finden sich auf [www.denkmalpflege-bw.de](http://www.denkmalpflege-bw.de) unter Denkmale, Projekte, Virtuelle Archäologie.

## Literatur

Jörg Bofinger/Christoph Steffen: Neue 3D-Dokumentationsverfahren in der Denkmalpflege – zur Verbindung von Structure From Motion (SFM) und Low-altitude Aerial Photography (LAAP), in: Photogrammetrie. Laserscanning. Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2014, hg. v. Thomas Luhmann und Christina Müller, Berlin 2014, S. 156–163.

The screenshot shows a website page for 'Die Hochburg bei Emmendingen'. At the top, there is a navigation bar with 'Startseite' and 'Suche'. Below the navigation bar, there is a header image showing a 3D model of a castle ruin. The main content area features a large 3D model of the castle ruin with a play button overlay. To the left of the model, there is a sidebar with a table of contents and a list of links. Below the model, there is a text block with the heading 'Hinweis' and 'Tipp'. At the bottom of the page, there is a section titled 'Das Objekt' with a small image of the castle ruin in its natural setting.



Markus Steffen: 3D-Laserscanning – neue Methoden zur Dokumentation und Visualisierung am Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg, in: Photogrammetrie. Laserscanning. Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2014, hg. v. Thomas Luhmann und Christina Müller, Berlin 2014, S. 278–284.

David Bibby/Markus Steffen: Millimetergenau mit 3D-Laserscanning. Neue Dokumentationsmöglichkeiten für die Landesarchäologie, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg 40/4, 2011, S. 218–221.

Matt Pharr/Simon Green: Ambient Occlusion, in: GPU Gems: programming techniques, tips, and tricks for real-time graphics, hg. v. R. Fernando, Boston 2004. Verfügbar unter [http://http.developer.nvidia.com/GPUGems/gpugems\\_ch17.html](http://http.developer.nvidia.com/GPUGems/gpugems_ch17.html) (8. Juli 2014).

P. Cignoni et al.: A general method for preserving attribute values on simplified meshes, in: Visualization '98. Ninth Annual IEEE Conference on Visualization, October 18–23, 1998, Research Triangle Park, North Carolina, hg. v. D. Ebert, Los Alamitos 1998, S. 59–66.

*Dr. Stephan M. Heidenreich  
Regierungspräsidium Stuttgart  
Landesamt für Denkmalpflege*