

## DIGITALE 3D-ERFASSUNG MODERNE WERKZEUGE AM LANDES- AMT FÜR DENKMALPFLEGE HESSEN



**Abb. 1:**  
Visualisierung von  
Verzierungen mittels  
MSII-Algorithmus in  
GigaMesh  
Objekt in Form von  
zwei Mischwesen. Lese-  
fund vom Glaubergpla-  
teau (Wetteraukreis),  
ca. 450–400 v. Chr.  
Grafik: Ch. Seitz, LfDH

Aktuell werden am Landesamt für Denkmalpflege Hessen (LfDH) diverse moderne Methoden und Techniken zur digitalen dreidimensionalen Dokumentation von Kulturerbe angewandt. Diese Methoden decken von der Erfassung sehr kleiner Objekte mit fotogrammetrischer Makrofotografie über die Kleinfundaufnahme mittels handgeführtem Streifenlichtscanner bis hin zur

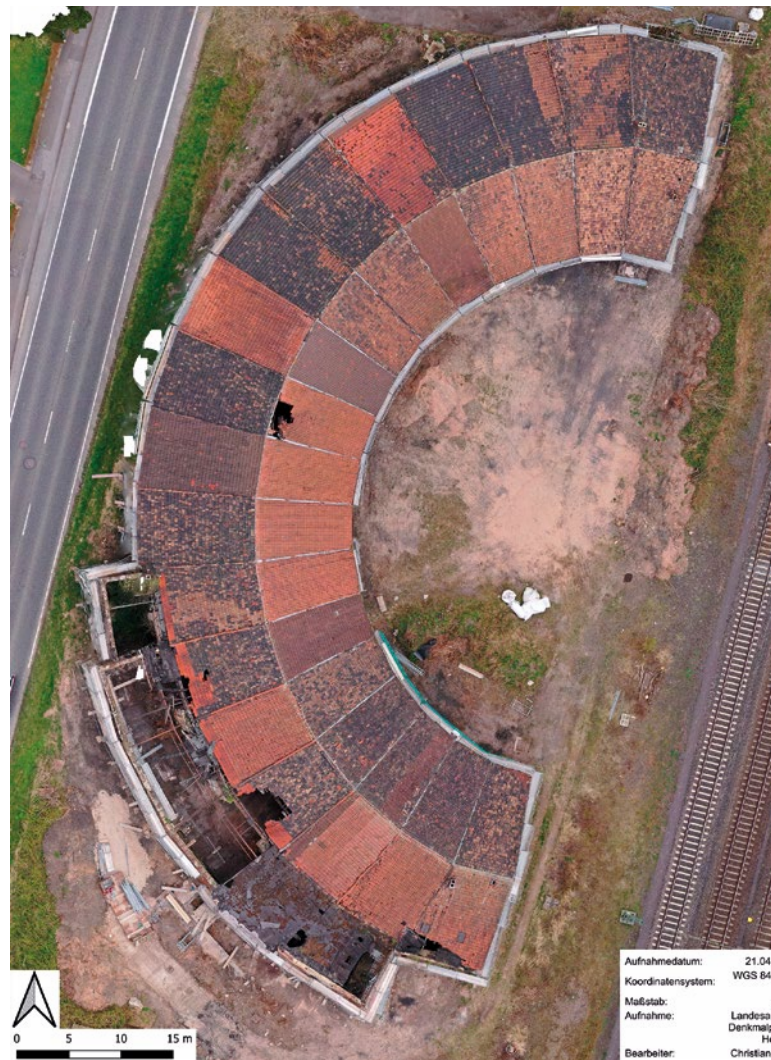
Aufnahme ganzer Bauwerke oder Gärten durch drohnengestütztes Laserscanning und Fotogrammetrie ein sehr breites Spektrum ab. Die so gewonnenen Daten müssen anschließend einer eingehenden Analyse unterzogen werden, um für die weitere Auswertung ein Ergebnis von wissenschaftlichem Mehrwert zu erhalten (Abb. 1).

## STRUCTURE FROM MOTION

Structure from Motion (SFM), eigentlich eine Variante der Fotogrammetrie, bezeichnet ein Verfahren, das sich aus dem Forschungsbereich des Maschinellen Sehens entwickelt hat, seit Jahren aber immer häufiger Verwendung bei der Dokumentation von Kulturerbe findet. Wie der Name suggeriert, wird aus der fotografischen Bewegung um ein Objekt herum dessen Struktur erfasst. Kurz gesagt wird das Objekt durch eine Vielzahl von Fotos mit hoher Überlappung von allen Seiten aufgenommen. Aus diesen Fotos berechnen entsprechende Programme zunächst die Aufnahmepositionen der einzelnen Fotos in ihrem räumlichen Verhältnis zueinander. Anhand dieser Informationen können dann Oberflächendaten des Objektes errechnet werden, wobei jeder Oberflächenpunkt von mindestens vier, besser aber sechs oder mehr Einzelfotos abgedeckt sein sollte. Daraus ergibt sich selbst bei komplexen Oberflächen eine dichte Abdeckung. Diese Punktwolke ermöglicht nun die Entwicklung diverser weiterer Daten. Im Fall von Kleinfunden ist das üblicherweise eine Oberflächenrekonstruktion in Form kleiner Dreiecke, das sogenannte Mesh. Über diese Oberfläche kann im Anschluss eine fotorealistische Farbrekonstruktion, die sogenannte Textur, gelegt werden. Das so aufbereitete 3D-Modell erlaubt dann diverse weitere Schritte der Auswertung oder Präsentation, die im Anschluss an die Verfahrensbeschreibungen kurz vorgestellt werden. Handelt es sich bei den Objekten nicht um Kleinfunde, sondern um Bauwerke, Ensembles oder gar Landschaften, wird von der Punktwolke ausgehend üblicherweise ein Geländemodell entwickelt, das die Oberfläche georeferenziert in zweieinhalb Dimensionen, quasi einem Relief abbildet. Dazu kommt ein sogenannte Orthofoto, eine Projektion der Bilddaten auf das Geländemodell, bei der jeder Bildpunkt immer genau geografisch senkrecht abgebildet wird und so eine maßstäbliche und damit messbare Ebene bildet (Abb. 2). Im Zusammenspiel lassen sich auf diese Weise mithilfe Geografischer Informationssysteme (GIS) sehr leicht verschiedene Analysen durchführen oder auch Umzeichnungen anfertigen. Das Verfahren eignet sich nicht nur für eine Ansicht von oben, sondern auch – mit etwas mehr Aufwand – für Wände. Hiervon lässt sich ebenfalls eine orthografi-

sche Abbildung errechnen und weitenutzen. Modell und Orthofoto können auch hier wieder für Analysen und als Grundlage für Zeichnungen herangezogen werden. Es ist außerdem möglich, für das erwähnte Mesh eine Textur, also quasi eine fotorealistische Oberfläche zu berechnen, die dann wiederum für diverse andere Aufgaben vor allem visueller Natur nutzbar ist (Abb. 3). Dies wird unten noch erläutert.

**Abb. 2:**  
**Orthofoto**  
des Ringlokschuppens Niederhonne (Werra-Meißner-Kreis) zur Dokumentation des Dachzustandes und Planung von Maßnahmen durch die untere Denkmal-schutzbehörde.  
Grafik: Ch. Seitz, LfDH



## HANDGEFÜHRTE STREIFENLICHTSCANNER

Ein der SFM verwandtes Verfahren steht in Form von zwei handgeführten Streifenlichtscannern am LfDH zur Verfügung, die sich im Scanvolumen und damit auch in der daraus resultierenden Auflösung unterscheiden. Während ein Scanner für größere Objekte genutzt wird (Abb. 4), dient der andere zur Erstellung detaillierterer Scans.



**Abb. 3:**  
**Rendering Bacchus-**  
**brunnen, Mathilden-**  
**höhe Darmstadt**

Im linken Bildteil ist die untexturierte Struktur gerendert, rechts die texturierte Oberfläche.

Aufnahme und Grafik:  
Ch. Seitz, LfDH



**Abb. 4:**  
**Rendering**

Fotorealistische Darstellung einer Radnabe aus der keltischen Saline von Bad Nauheim (Wetteraukreis)

Scan: Ch. Seitz, LfDH/  
Ch. Röder, KWG;  
Visualisierung:  
Ch. Seitz, LfDH



Die beiden Scanner arbeiten mit einem auf das aufzunehmende Objekt projizierten Lichtstreifenmuster, das den Kameras hilft, die Aufnahmegenauigkeit zu steigern. Der Vorteil dieses Verfahren liegt in der Live-Vorschau am Laptop, die es ermöglicht, das Objekt zielgerichtet und vollständig aufzunehmen, während die aufnehmende Person immer die Kontrolle über den korrekten Abstand hat.

**AUFNAHMEN AUS DER LUFT:**  
**UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Für die Aufnahme von Grabungsflächen, Gebäuden oder noch größeren Flächen werden am LfDH mittlerweile mehrere Unmanned Aerial Vehicles (UAV) oder umgangssprachlich Drohnen genutzt. Für den hochmobilen Einsatz stehen u. a. vier kleinere Quadrocopter zur Verfügung, die mit ihrem kleinen Packmaß und einer Flugzeit von 30 Minuten für diverse Aufnahmeszenarien interessant sind. Mit ihrem 20 Megapixel auflösenden Sensor können diese UAV für die 3D-Dokumentation mittels SFM genutzt werden, liefern aber auch ansehnliche Videoaufnahmen aus der Luft.

Ein weiteres UAV, das deutlich größer ist und höhere Lasten tragen kann, arbeitet mit integriertem Globalem Navigations satelliten-



**Abb. 5:**  
**Drohneinsatz**  
 Unmanned Aerial  
 Vehicle M300 des LfDH  
 bei einem Einsatz am  
 Glauberg  
 Foto: Ch. Röder, KWG

system (GNSS), das Korrekturdaten in Echtzeit verarbeiten kann (Real Time Kinematics) und damit eine Positionierungsgenauigkeit von wenigen Zentimetern erlaubt. Für dieses UAV gibt es je nach Fragestellung drei unterschiedliche Sensoren. Zunächst steht uns eine mit 40 Megapixel hochauflösende Fotogrammetriekamera zur Verfügung, die über diverse Objektive zusätzlich an die jeweiligen Aufträge angepasst werden kann. Darüber hinaus verfügt das LfDH über einen LiDAR-Scanner, der über aktive Laserstrahlen eine Vermessung der Umgebung auch an Oberflächen ermöglicht, die durch SFM nicht erfassbar sind. Und zuletzt kann dieses UAV mit einem Geomagnetik-Sensor ausgestattet werden, der es mittels spezieller Flugplanung ermöglicht, Flächen automatisiert geomagnetisch auf Befunde zu untersuchen (**Abb. 5**).

Mit Ausnahme der Geomagnetik liefern alle diese Verfahren dreidimensionale Oberflächendaten, die auf verschiedenste Weise für weitere Analysen genutzt werden.

### DIGITALE PRÄSENTATION

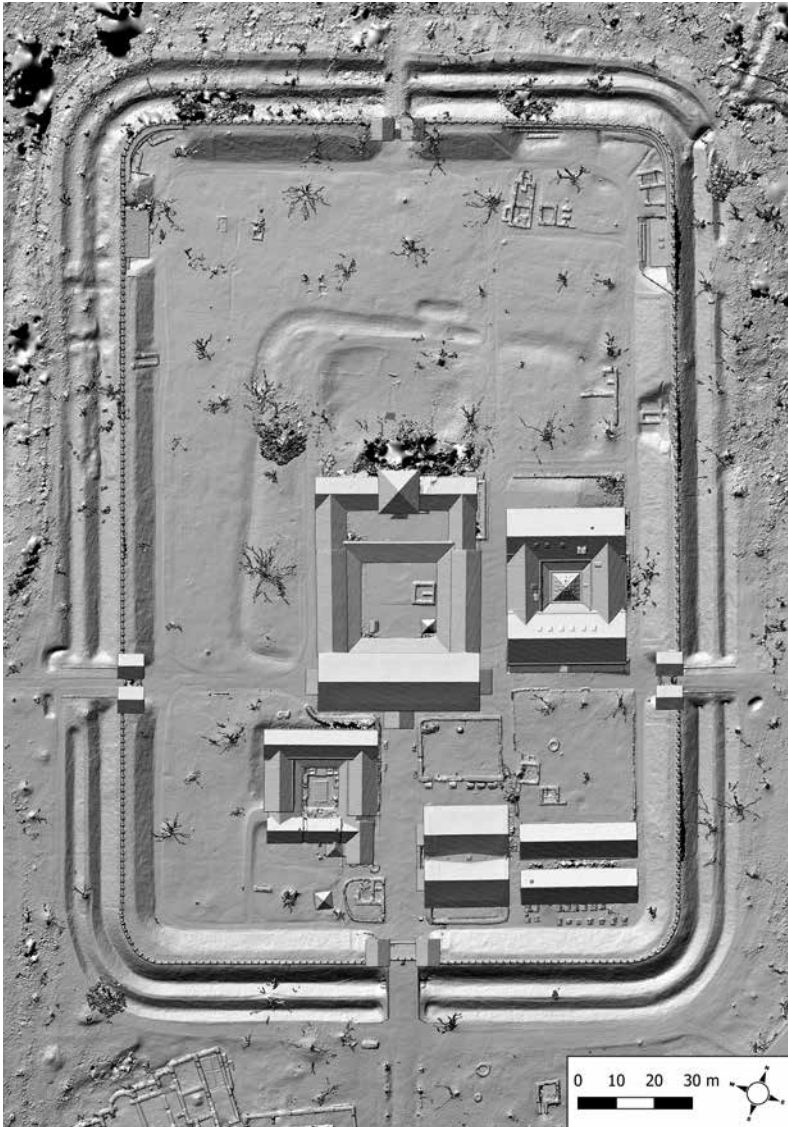
Für die museale Präsentation eignet sich besonders eine Darstellung mittels Virtual Reality. Solche Verfahren erfreuen sich durch die

Möglichkeit, vergleichsweise tief in die virtuelle Welt eintauchen zu können, immer größerer Beliebtheit. Der Reiz liegt in der Ausblendung der Umgebung bei gleichzeitiger räumlicher Wahrnehmung innerhalb der Brillen. Mittels sogenannte Game-Engines, die ursprünglich für Computerspiele entwickelt wurden, können spielerisch komplexe Zusammenhänge dargestellt oder Funde beliebig gedreht und bewegt werden.

### 3D-DRUCK

Für die Restaurierungswerkstätten und die beiden Häuser des Archäologischen Landesmuseums Hessen ist die Weiterverarbeitung der Modelle für den 3D-Druck mit Kunstharz besonders interessant, weil hier einerseits hoch angepasste Halterungen oder Ergänzungen erstellt werden können und andererseits die Objekte tatsächlich greifbar werden. Es steht hierfür ein sogenannte Resin-Drucker (engl. resin = Harz) zur Verfügung, der dieses UV-aktive Kunstharz sehr präzise aushärten kann, wodurch detaillierte Modelle mit einer Schichtauflösung von bis zu 0,01 mm erzeugt werden. Dabei ist es nicht nur möglich, einfache Modelle zu drucken, diese können vielmehr auch skaliert werden. Dadurch kann z. B. eine Münze





**Abb. 6:**  
**Schummerungs-**  
**darstellung**

Geländemodell des Saalburg-Kastells mittels Schummerung, um die Geländetopografie erfassbar zu machen

Datenaufnahme:  
K. Dulic, Fa. DJI,  
Ch. Seitz, LfDH,  
A. Langgartner, Römerkastell Saalburg  
Visualisierung:  
Ch. Seitz, LfDH

von 1 cm Durchmesser deutlich vergrößert ausgegeben werden, sodass alle erfassten Details gut sichtbar sind. Dem Thema „3D-Scanning in der Archäologie“ widmete sich 2021 eine Sonderausstellung der Keltenwelt am Glauberg, welche die Möglichkeiten ausführlich vorstellte. Ein Überblick über die Ausstellung mit einigen Videos ist weiterhin online verfügbar unter: <https://www.keltenwelt-glauberg.de/keltenwelt-digital/sonderausstellungen-digital/3d-scanning-in-der-archaeologie/>.

**ANALYSEN DER 3D-MESHDATEN**

Das von Jun. Prof. Dr. Hubert Mara, jetzt Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg, entwickelte und frei verfügbare GigaMesh Software Framework ([www.gigamesh.eu](http://www.gigamesh.eu)) erlaubt spezielle Untersuchungen am 3D-Mo-

dell; so ist es u. a. möglich, feinste Verzierungen (Abb. 1) oder auch Fingerabdrücke auf Keramik zu detektieren und zu visualisieren. Darüber hinaus kann die Software anhand weniger Klicks aus dem 3D-Modell einer Scherbe die klassische Umzeichnungsansicht erstellen oder gar ganze Türme so abrollen, dass die Mantelfläche eben liegt, gleichzeitig aber die Steine weiterhin räumlich erscheinen, man also beispielsweise Fugen detektieren kann. Die 3D-Daten und deren Analyse ermöglichen es, in einem Folgeschritt auch Abbildungen für Publikationen und Web zu erzeugen, die kurz als Renderings bezeichnet werden.

**GIS-ANALYSEN**

Die abgeleiteten Daten der Gelände- oder Wandmodelle bieten im Rahmen der Forschung die Möglichkeit, hochauflösende und maßstabsgerechte Ausdrucke für die Dokumentation anzufertigen. Durchführbar sind außerdem Analysen mittels eines GIS, um z. B. Hangneigungen, Hangausrichtungen oder Blickfelder zu berechnen. Auch hydrologische Untersuchungen oder die Einbindung der Geomagnetik in die digitalen Geländedaten, die bei vom Land beauftragten, turnusmäßigen Befliegungen Hessens mittels Airborne Laserscanning (LiDAR) erfasst werden, sind realisierbar. Daraus lassen sich Geländemodelle erstellen wie etwa für das Limeskastell Saalburg in Bad Homburg v. d. H (Hochtaunuskreis) (Abb. 6). Das in einer Schummerungsansicht dargestellte Gelände-Relief zeigt schön die Anlage in ihrer Spielkartenform und sogar das Vorgängerkastell als Abdruck.

**AUSBLICK**

Diese zahlreichen Möglichkeiten der Datenerfassung und Auswertung werden zukünftig in allen Bereichen des LfDH eine wichtige Rolle spielen. Entsprechend wird kontinuierlich am Ausbau der dafür nötigen Infrastruktur gearbeitet. Hierbei geht es nicht nur um die Erfassung, sondern auch um die Analyse, Verschlagwortung und Archivierung. Ein wichtiger Punkt ist in diesem Zusammenhang auch die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die diese Methoden im Rahmen ihrer Tätigkeit anwenden.

Christian Seitz