

## Wohin mit all den Scans?

Über die dauerhafte Archivierung von 3D-Daten bedeutender Kulturgüter am Beispiel des Bamberger Kaisergrabs

MAX RAHRIG

### ZUSAMMENFASSUNG

Die 3D-Dokumentation von Kulturgütern hat sich in den letzten Jahren zu einer gängigen Methode entwickelt. Messgenauigkeit, Qualität und Güte der Datensätze wachsen dabei stetig, so dass diese 3D-Modelle inzwischen als eigenständiges und schützenswertes digitales Kulturerbe eingestuft werden müssen. Doch was genau passiert mit den Daten nach ihrer Anfertigung und Auswertung? Wie genau erfolgt die Bewahrung der 3D-Daten bedeutender Kulturgüter für kommende Generationen? Nationale und internationale Kulturportale haben sich diesem Problem angenommen und stellen ihre Daten online einer breiten Öffentlichkeit zur

Verfügung. Doch es stehen auch Museen, Sammlungen und Landesämter in der Pflicht das digitale Kulturerbe langfristig zu schützen und zu erhalten. Daher müssen Kopien der Datensätze in den Archiven der Einrichtungen dauerhaft aufbewahrt werden. Im Zuge der hochauflösenden, dreidimensionalen Dokumentation des Bamberger Kaisergrabs, einem herausragenden Meisterwerk mittelalterlicher Bildhauerkunst von Tilman Riemenschneider, wurden innerhalb der 3D-Arbeitsgruppe des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege (BLfD) einheitliche Datenformate und eine standardisierte Ablagestruktur definiert, mit deren Hilfe 3D-Daten auf langlebigen, gläsernen DVDs archiviert werden

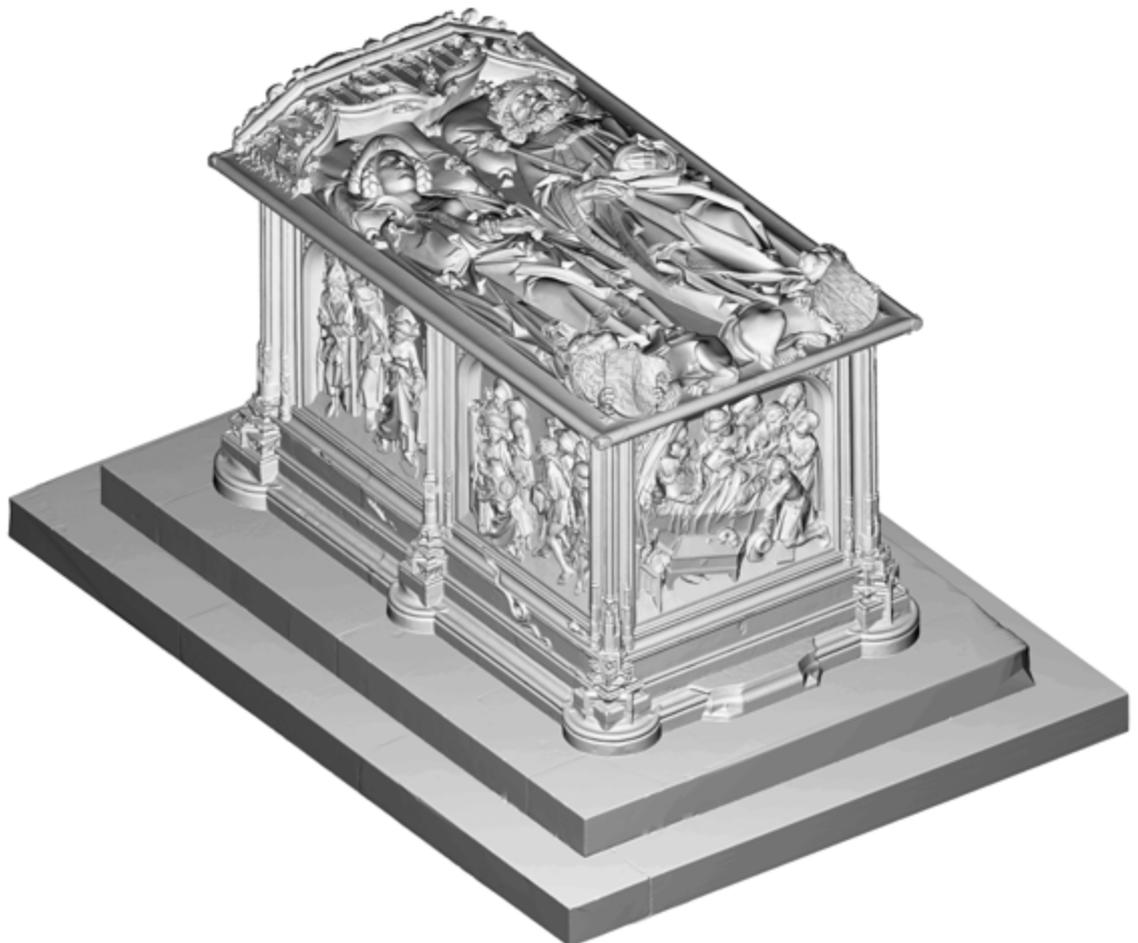


Abb. 1: 3D-Modell des Bamberger Kaisergrabs. Isometrische Darstellung



Abb. 2: „Heinrich auf dem Sterbebett“. Ansicht der regulär im Schatten liegenden Reliefplatte an der Ostseite des Kaisergrabs

sollen. Auf diese Weise sollen künftig 3D-Daten bedeutender Kulturgüter, wie beispielsweise die bereits bestehenden Datensätze des Bamberger Reiters, des Grabmals Papst Clemens II. aber auch neu erfasste Daten am BLfD archiviert werden. Eine kosten- und arbeitsintensive Datenpflege, wie sie gängige Speichermedien aufgrund ihrer stark limitierten Lebensdauer erfordern, soll so künftig deutlich reduziert werden.

### Einführung

Die Erstellung von 3D-Modellen bedeutender Kulturgüter hat sich zu einem allgemein gängigen Dokumentationswerkzeug entwickelt. Besonders in den letzten Jahren wurden immer mehr Low-Cost-Technologien und Open-Source-Softwarelösungen entwickelt, die es erlauben mit geringem Aufwand Objekte zu digitalisieren und die Daten zu bearbeiten.

In großen Forschungsprojekten wurden sogar ganze Scanstraßen entwickelt, mit denen Museums-sammlungen in kürzester Zeit – wortwörtlich – am Fließband erfasst werden können.<sup>1</sup> Die Gründe für eine dreidimensionale Erfassung differieren dabei

mitunter gewaltig; Neben wissenschaftlichen Fragestellungen, zu deren Klärung eine detaillierte Oberflächendokumentation benötigt wird, über die Erstellung von verzeichnungsfreien Orthofotos als Grundlage für Kartierungen jeglicher Art, bis hin zur web-fähigen Präsentation der Objekte auf den Internetseiten der Museen und Sammlungen. Die nahezu vollumfängliche Oberflächendokumentation eines Objektes durch sein digitales Abbild wird besonders bei gefährdeten Kulturgütern als großer Vorteil gesehen und dient ebenfalls häufig als Begründung für die Erstellung eines 3D-Modells. Einzelne Institutionen gehen sogar noch etwas weiter und lassen sich durch die immer besseren und höher auflösenden 3D-Dokumentationstechniken dazu verleiten den digitalen 3D-Datensatz als möglichen Ersatz für ein Original anzusehen:

„Bei einem Verlust des Originals sind durch die fotorealistischen 3D-Modelle noch Abbild und Form verfügbar und der Kontext nachhaltig begreifbar. Mithilfe dieser digitalen „3D-Konservierung“ bleiben Objekte für künftige Generationen erhalten.“<sup>2</sup>

Eine Aussage, die durchaus kritisch zu sehen ist. Vielmehr sollten die 3D-Modelle eher als eine digitale Erinnerung an das Original zum Zeitpunkt der Erfassung<sup>3</sup> oder als eigenständiges digitales Kulturerbe verstanden werden.

### 3D-Dokumentation des Bamberger Kaisergrabs

2016 erfolgte im Rahmen der Abschlussarbeit von Julia Trautwein<sup>4</sup> im Masterstudiengang Denkmalpflege der Universität Bamberg die dreidimensionale Dokumentation des Kaisergrabs im Dom zu Bamberg. Das Hochgrab (Abb. 1) des heiliggesprochenen Kaiserpaars Heinrich II. und Kunigunde

wurde zwischen 1499 und 1513 von Tilman Riemenschneider gefertigt. Es zeigt an den Seitenflächen der Tumba Bildreliefs mit Legendenszenen aus dem Leben sowie eine lebensgroße Darstellung des Kaiserpaars auf der Deckplatte.<sup>5</sup> Die Vermessung erfolgte auf Anregung der 3D-Arbeitsgruppe des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege<sup>6</sup> und des Erzbistums Bamberg. Die Kernfragestellung der Abschlussarbeit stellte der Vergleich verschiedener Scantechnologien dar, zudem sollte das Kaisergrab umfassend dokumentiert werden, um die 3D-Daten anschließend beispielsweise im Rahmen von Ausstellungen verwenden zu können.

Die handwerkliche und künstlerische Ausarbeitung der Oberflächen sind von herausragender Qualität.<sup>7</sup> Trotz der Relieftiefe von lediglich maximal 7,5 cm wird eine einmalige Tiefenwirkung und Plastizität der Bild Darstellungen erzielt. Das 2,48 x 1,54 x 1,59 m (LxBxH – ohne Sockel) messende Kaisergrab befindet sich heute in einer Nische am Ende des Mittelschiffs zwischen den Aufgängen zum Ostchor. Aufgrund seiner Lage, den Lichtverhältnissen und dem umlaufenden Gitter lassen sich viele Bereiche der Grablege nur schwer von den Besuchern betrachten, wodurch viele Details und die gestalterische Brillanz der Reliefs kaum zur Geltung kommen. Besonders die Szene „Heinrich auf dem Sterbebett“ (Abb. 2) auf der Ostseite der Tumba liegt dauerhaft im Schatten und geht in seiner Wirkung nahezu unter. Die Deckplatte ist für die überwiegende Mehrheit der Besucher nicht zu betrachten. Lediglich im Rahmen von Führungen wird Zugang auf den Ostchor gewährt, wodurch ein Blick auf die filigran gearbeiteten Figuren, den feingliedrigen Baldachin und den wappenschildhaltenden Löwen zu Füßen des Kaiserpaars ermöglicht wird (Abb. 3).

Sowohl für die Präsentation der Details für die Besucher aber auch für die Erstellung eines Plansatzes zur restauratorischen Dokumentation der Oberflächen war eine hochauflösende Vermessung mittels Detailscanner im Submillimeterbereich notwendig. Besonders aufgrund der spiegelnden und polierten Oberfläche der Deckplatte und den filigranen Hinterschneidungen im Bereich der Reliefplatten aus Alttertiär-Lithothamnienkalkstein (Algenknollenkalk)<sup>8</sup> fiel die Wahl auf ein Streifenlichtscansystem mit einer Auflösung von etwa 0,5 mm. Die mit einem Steinbichler Comet L3D erhobenen Daten wurden zusätzlich mit hochauflösenden Fotos fotorealistisch texturiert. Im Endergebnis liegt nun eine umfassende Dokumentation des Kai-



Abb. 3: Aufsicht auf die reich verzierte Deckplatte des Grabmals

sergrabes mit nahezu allen Oberflächendetails wie Bearbeitungsspuren, Fassungsresten und Vergoldungen (Abb. 4) vor.

Güte, Qualität und vielseitige Nutzbarkeit solcher Digitalisate machen verständlich, warum 3D-Modelle als eigenständiges digitales Kulturerbe definiert werden sollten. Dadurch entstehen aber auch Pflichten im Umgang mit den Daten, es gilt das digitale Erbe zu schützen und zu bewahren, wie es bereits 2003 in der „Charta zur Bewahrung des digitalen Kulturerbes“<sup>9</sup> von der UNESCO definiert wurde. Doch was genau passiert mit den 3D-Modellen nach ihrer Anfertigung und nach der Erstellung

von CAD-Plänen und Ansichten? Wie genau erfolgt die Bewahrung der 3D-Daten für kommende Generationen?

Bisher werden die Daten häufig auf DVDs, USB-Sticks oder Festplatten in frei gewählten Formaten gespeichert und den Forschungseinrichtungen, Museen, Sammlungen oder Landesämtern übergeben. Dort mangelt es mitunter an der notwendigen Ausstattung und Software zur Betrachtung der Daten und somit auch an Erfahrung im Umgang mit 3D-Modellen. Somit droht die Gefahr, dass die Datenträger in Schubladen lagern und in Vergessenheit geraten. Nach wenigen Jahren lassen sich diese



Abb. 4: Reliefplatte mit Darstellung des „Pflugcharwunders“. Fotorealistisch texturiertes 3D-Modell. Deutlich erkennbar sind die Goldapplikationen auf den Gewändern des Kaiserpaars.

Datenträger im schlimmsten Fall nicht mehr lesen, wodurch eine umfassende Dokumentation für kommende Generationen hinfällig wird: ‘Sadly, without careful planning, many of our digital efforts will not outlive the heritage they are meant to record and protect.’<sup>10</sup>

### **Online Kulturportale als digitale Archive**

In den letzten 10 bis 15 Jahren wurden verschiedene Lösungsansätze für eine Archivierung der 3D-Daten oder generell digitaler Daten historischer Objekte entwickelt. Im Kulturgutsektor handelt es sich hierbei besonders um webbasierte Kulturportale, wie etwa CyArk, Europeana oder Bavarikon.

CyArk wurde 2003 als Non-Profit-Organisation mit dem Ziel, Denkmäler durch 3D-Laserscanning zu dokumentieren und archivieren, gegründet. Die Archivierung der Objekte erfolgt auf einem zentralen Server in den USA.<sup>11</sup> Je nach Vorgabe des Eigentümers sind die Daten online frei oder auf Anfrage für Wissenschaft und Forschung zugänglich.<sup>12</sup>

2007 wurde im Rahmen der Initiative Digitale Bibliotheken eine europaweite digitale Bibliothek (Europeana) geschaffen. Sie hat das Ziel wissenschaftliches und kulturelles Erbe, wie Fotografien, Bücher, Karten, Filme und Museumsobjekte online verfügbar und so einem großen Kreis an Anwendern einfach und schnell zugänglich zu machen.<sup>13</sup> Seit Ende 2008 ist das Kulturportal online nutzbar.<sup>14</sup>

Bavarikon ist ein 2012 eingerichtetes Kulturportal zur webbasierten Präsentation bayerischer Kulturobjekte, welches an der Bayerischen Staatsbibliothek angesiedelt ist.<sup>15</sup> Die bereitgestellten Daten umfassen beispielsweise Fotos, Archivalien, Videos, Handschriften und 3D-Modelle sowie 3D-Rekonstruktionen.<sup>16</sup> Bis 2015 wurden bereits über 200.000 Objekte in das Kulturportal eingepflegt.<sup>17</sup>

### **Unabhängige Archivierung von 3D-Daten**

Die vorgestellten Kulturportale bieten großes Potenzial zum Erhalt, zur Verbreitung und Erstellung von digitalem Kulturgut. Besonders im Bereich der dreidimensionalen Dokumentation leisten diese drei Kulturportale einen großen Beitrag zum stetig wachsenden Datenpool bei: CyArk hat seinen Länder unabhängigen Schwerpunkt ausschließlich im Umgang mit 3D-Daten, für Europeana wurden zur Einbindung und gezielten Erstellung von 3D-Daten eigens EU-Forschungsprojekte realisiert,<sup>18</sup> Bavarikon bietet die 3D-Vermessung herausragender bayerischer Kulturobjekte als kostenlosen Service an.<sup>19</sup>

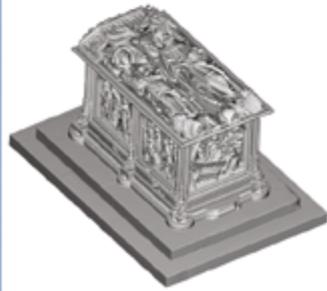
Neben der Verbreitung und Aufbewahrung der 3D-Daten in Kulturportalen sind aber auch die Museen, Sammlungen und Landesämter in der Pflicht eigenständige Archive zu betreiben und unabhängig von der Entwicklung und Förderung Dritter die Dokumentation unseres kulturellen und digitalen Erbes langfristig zu bewahren. Die Hauptanforderung an eine längerfristige Archivierung digitaler Daten lässt sich dabei wie folgt beschreiben: „Im Sinne der Langzeitarchivierung stellen Informationen den zu erhaltenden „Wert“ dar. Informationen, die durch digitale Objekte repräsentiert werden, sind bedroht durch Einbußen in ihrer Integrität, Authentizität und Vertraulichkeit sowie den gänzlichen Verlust der Verfügbarkeit und Nutzbarkeit.“<sup>20</sup>

Die Integrität steht dabei für die Unveränderbarkeit der Daten. Durch die Authentizität wird die Echtheit der Daten und die Nachweisbarkeit der Ersteller, Urheber oder Autoren beschrieben. Die Vertraulichkeit beschreibt den Schutz vor Datenmissbrauch seitens Dritter, wie beispielsweise eine unerlaubte Verwendung der Daten für wirtschaftliche Zwecke oder unlizenzierte Vervielfältigung und Vermarktung durch 3D-Druck. Die Verfügbarkeit steht für die Zugänglichkeit der digitalen Daten.<sup>21</sup>

Im Zuge der dreidimensionalen Dokumentation des Bamberger Kaisergrabs wurde innerhalb der 3D-Arbeitsgruppe des BLfD die Frage nach einer dauerhaften Archivierung des Datensatzes und seiner Ergebnisse diskutiert. Den Beteiligten war dabei von Anfang an wichtig hier keine Insellösung für diesen einen Datensatz zu erstellen, sondern vielmehr eine vielseitige, unabhängige und einfach nutzbare Lösung zu finden, um auch künftig 3D-Daten bedeutender Kulturgüter in einer einheitlichen Struktur zu archivieren. Großes Potenzial wird in einer standardisierten Ablagestruktur in Kombination mit der GlassMasterDisc (GMD) gesehen. Die GMD wird bereits erfolgreich im Archiv des BLfD genutzt, um den Bestand historischer Fotos und Negative digital zu archivieren.<sup>22</sup>

### **Die GlassMasterDisc (GMD)**

Bei der GlassMasterDisc (GMD) handelt es sich – vereinfacht beschrieben – um eine DVD aus Glas. Die zu speichernden Informationen werden hierbei als Vertiefungen in die Glasoberfläche der GMD eingearbeitet. Aufgrund der extrem reinen Rohstoffe bei der Herstellung der Gläser sind die Disks äußerst beständig gegenüber Feuchtigkeit, Temperatur und besonders gegenüber magneti-

Das Kaisergrab im Bamberger Dom		01.03.2017
hochauflösende 3D-Dokumentation der Oberflächen		Seite 1/2
<b>Auftraggeber:</b> <b>Erzbistum Bamberg</b> Dr. Norbert Jung Leiter der Hauptabteilung Kunst und Kultur Domplatz 5 96049 Bamberg Tel. Fax E-Mail:		<b>Auftragnehmer:</b> <b>Otto-Friedrich-Universität Bamberg</b> Prof. Dr. Rainer Drewello Prof. für Restaurierungswissenschaften Am Kranen 12 96047 Bamberg Tel. E-Mail:
<b>Objekt:</b> Objektart: Grabmal des Kaiserpaars Heinrich II und Kunigunde Material: Algenkollenkalkstein Größe: 3,46 x 2,48 x 1,95 m (inkl. Sockel, LxBxH)	<b>Verwendete Technik:</b> Gerät: Steinbichler Comet L3D, Messfeld 800 mm, Oberflächenauflösung 0,5 mm, Messverfahren: Structured-Light-Scanning (SLS)	
<b>Standort:</b> Dom zu Bamberg, Mittelschiff.	<b>Bearbeiter:</b> Datenaufnahme und Aufbereitung: Frau Julia Trautwein im Rahmen ihrer Masterarbeit an der Universität Bamberg. Technische Hilfestellung: Max Rahrig M.A. und Ruth Tenschert M.A.	
<b>Datum der Vermessung:</b> Juli – August 2016	<b>Zeitraum der Bearbeitung:</b> Juli – Oktober 2016	
<b>Datenformat der Rohdaten:</b> Steinbichler CDB-Format, Einzelscans exportiert als *.TXT	<b>Datenformat der finalen Daten:</b> *.STL (geschlossenes 3D-Oberflächenmodell, ohne Texturinformation)	
<b>Ziel der Maßnahme / Fragestellung an die Vermessung:</b> Vollumfängliche, dreidimensionale Dokumentation des Kaisergrabs im Rahmen der Masterarbeit „Archivfähige 3D-Modellierung komplexer Oberflächen am Beispiel des Kaisergrabs im Bamberger Dom“ von Julia Trautwein im Masterstudiengang Denkmalpflege an der Universität Bamberg, 2016.		
<b>Übersicht 01:</b> 	<b>Übersicht 02 oder Anmerkungen:</b> 	
3D-Modell des Kaisergrabs	Detailansicht der Seelenwägung	

Das Kaisergrab im Bamberger Dom		01.03.2017
hochauflösende 3D-Dokumentation der Oberflächen		Seite 2/2
<b>Ordnerstruktur und Inhalt des Datenträgers:</b>		
<b>Disk 1</b> <b>Report:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaisergrab_3D-Report.pdf → Dieser Report</li> <li>Kaisergrab_10p.pdf → 3D-PDF mit dem Oberflächenmodell des Kaisergrabs in 10% Auflösung</li> </ul>		
<b>Rohdaten:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>502 TXT-Dateien der Einzelscan (Typ: Punktwolken, Maßeinheit: Millimeter)</li> </ul>		
<b>Disk 2</b> <b>Report:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaisergrab_3D-Report.pdf → Dieser Report</li> <li>Kaisergrab_10p.pdf → 3D-PDF mit dem Oberflächenmodell des Kaisergrabs in 10% Auflösung</li> </ul>		
<b>3D-Modelle:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaisergrab_100p.stl → Flächenmodell des Kaisergrabs, Maßeinheit Meter, Oberflächenauflösung 100%</li> <li>Kaisergrab_010p.stl → Flächenmodell des Kaisergrabs, Maßeinheit Meter, Oberflächenauflösung 10%</li> </ul>		
<b>Orthofotos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaisergrab_Aufsicht_M1-1.tiff → Orthofoto, Maßstab 1 zu 1, 300 DPI, Pixelmaß: 0,084 mm</li> <li>Kaisergrab_Links_M1-1.tiff → Orthofoto, Maßstab 1 zu 1, 300 DPI, Pixelmaß: 0,084 mm</li> <li>Kaisergrab_Rechts_M1-1.tiff → Orthofoto, Maßstab 1 zu 1, 300 DPI, Pixelmaß: 0,084 mm</li> <li>Kaisergrab_Vorne_M1-1.tiff → Orthofoto, Maßstab 1 zu 1, 300 DPI, Pixelmaß: 0,084 mm</li> <li>Kaisergrab_Hinten_M1-1.tiff → Orthofoto, Maßstab 1 zu 1, 300 DPI, Pixelmaß: 0,084 mm</li> </ul>		

Abb. 5: Report zur 3D-Dokumentation des Kaisergrabs im Dom zu Bamberg

scher oder kosmischer Strahlung, zudem haben sie eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Durch die hohe Beständigkeit entfällt eine aufwändige Datenpflege, wie sie bei weniger beständigen Datenträgern wie normalen DVDs, USB-Sticks, Magnetbändern oder Festplatten notwendig wäre. Die Daten müssen vom Hersteller (Syplex AG) in die Disk eingearbeitet werden. Nach der Erstellung sind die GMDs mit jedem DVD- oder Blu-ray-Laufwerk lesbar. Sollte das DVD-Format im Laufe der technologischen Entwicklung abgelöst werden, ist durch den öffentlich zugänglichen ECMA-Standard für optische Datenträger sichergestellt, dass auch künftig Lesegeräte zur Not einfach nachgebaut werden könnten.<sup>23</sup> Die Speicherkapazität der GMD liegt in der neuesten Ausführung bei 10 GB.<sup>24</sup> Besonders im Falle von 3D-Daten ist in der Regel mit sehr hohen Dateigrößen zu rechnen, wodurch die Kapazität sehr schnell erschöpft ist. Im Falle des Kaisergrabs wurden für die Archivierung zwei GMDs benötigt, eine für die Rohdaten und

eine für die bearbeiteten 3D-Modelle und fertigen CAD-Pläne.<sup>25</sup>

### Eine standardisierte Ablagestruktur

Die GMDs sollen nun auch genutzt werden, um die 3D-Daten bedeutender bayerischer Kulturschätze zu archivieren. Innerhalb der 3D-Arbeitsgruppe wurde daher eine einheitliche Ablagestruktur zur Archivierung der Daten erarbeitet. Hierbei war es wichtig, die Struktur möglichst übersichtlich und benutzerfreundlich zu halten, so dass sie auch von Dritten zur Vorbereitung der zu archivierenden Daten schnell angewendet werden kann. Neben der Ausarbeitung einer einheitlichen Ablagestruktur wurden zudem einheitliche Dateiformate festgelegt, die im Rückblick auf die letzten 10 bis 15 Jahre als beständig erachtet werden und aufgrund ihrer weiten Verbreitung von nahezu jeder gängigen 3D-Software lesbar sind.

Die Ablagestruktur basiert auf vier grundlegenden Säulen der Dokumentation: Einem Report als



Abb. 6: Relief der „Seelenwägung“: Unbearbeitete Rohdaten (links), gelb-grün sind Fehlstellen und Löcher dargestellt und nachbearbeitetes 3D-Oberflächenmodell (rechts) bei dem u.a. die Löcher geschlossen wurden

steckbriefartiger Kurzbeschreibung des Projektes, den Rohdaten, den Ergebnisdaten und einer bildbasierten Dokumentation der Objekte für eine schnelle Sichtung der Projekthalte.

### Der Report

Der Report soll alle grundlegenden Information für die zu archivierenden Datensätze enthalten. Hierzu wurde eine Vorlage erarbeitet, aus der die Kerninformationen<sup>26</sup> oder die bekannten fünf W-Fragen (wer, was, wann, für wen, wie) auf einen Blick ersichtlich sind (Abb. 5). So sollen neben dem Projekttitel und dem Datum der Erstellung des Datensatzes auf der ersten Seite zunächst die Kontaktdaten des Auftraggebers und des Auftragnehmers mit Anschrift, Logo, Ansprechpartner, Telefonnummer und E-Mailadresse angegeben werden. Darauf folgt eine kurze Objektbeschreibung, welche den Typ bzw. den Eigennamen des Objektes enthält, die Datierung (sofern bekannt), Größe sowie die Materialart des Objektes. Unterhalb der Kurzbeschreibung folgen Angaben über den Standort und ggf. die Inventarnummer.

Neben den objektspezifischen Informationen sind auch Angaben zu der verwendeten Dokumentationstechnik mit genauer Typenbezeichnung, die Namen der Bearbeiter während der Datenaufnahme und der Nachbearbeitung, sowie das Datum der Vermessung und der Zeitraum der Nachbearbeitung anzugeben. Ferner sind die Dateiformate der Rohdaten und der finalen Daten anzugeben.

Informationen über den Grund der Datenaufnahme mit Fragestellung und geplanten Anforderungen an das 3D-Modell sind ebenfalls essentiell, da sich aus diesen Informationen die Qualität und Verwendbarkeit für weitere Arbeiten entnehmen lässt. So sind Datensätze, die rein für eine Web-Präsentation erstellt wurden, in der Regel nur bedingt für eine Schadenskartierung oder ein 3D-Monitoring nutzbar. Für die Web-Präsentation sollen die Modelle möglichst geringe Dateigrößen aufweisen, wodurch die Geometrie und z.T. auch Farbinformation stark reduziert sind. Für ein 3D-Monitoring sind diese finalen Daten daher kaum verwendbar, so dass ggf. eine erneute Verarbeitung basierend auf den Rohdaten erfolgen müsste. Andererseits ließen sich 3D-Drucke, für eine museale Präsentation, aus den webgeeigneten Datensätzen vermutlich ohne weitere Bearbeitung erstellen.

Die erste Seite des Reports sollte zudem neben der textbasierten Beschreibung des Projektes auch ein bis zwei aussagekräftige Abbildungen der Daten enthalten. Auf der zweiten und möglichen folgenden Seiten können ggf. zusätzliche Abbildungen folgen, zudem soll hier die Ordnerstruktur der GMD mit allen abgelegten Dateien, mit Angabe des Dateiformats und einer kurzen Beschreibung folgen (Abb. 5). Die Kurzbeschreibung der einzelnen Dateien soll dabei Angaben zum Bearbeitungsstand (Rohdaten/aufbereitete Daten), der Oberflächenauflösung, mögl. Farbinformationen etc. enthalten.

Im Bereich der bildbasierten Dokumentation sind zudem die DPI und bei verzeichnungsfreien Abbildungen (Orthofotos) das Pixelmaß in Millimetern anzugeben. Der Report soll im Dateiformat PDF/A auf der GMD gespeichert sein: Zusätzlich wird dem Datenträger ein Ausdruck auf säurefreiem, beständigem Papier beigelegt, so dass auch ohne Auslesen des Datenträgers der zu erwartende Inhalt schnell gesichtet werden kann.

### Einheitliche Dateiformate für 3D-Daten

Bedingt durch die jeweilige Messtechnik lassen sich, wie am Beispiel des Bamberger Kaisergrabes zu sehen ist (Abb. 6), nicht alle Bereiche eines Objektes lückenlos mittels 3D-Scanning erfassen. Im Rahmen der Nachbearbeitung und Aufbereitung der 3D-Modelle werden die Daten, je nach Fragestellung, immer in einer gewissen Weise verändert, manipuliert oder interpretiert. So werden die Einzelscans während der Triangulation, also dem Überführen von einer Punktwolke aus Einzelscans in ein zusammenhängendes Oberflächenmodell, bereits gefiltert und verändert. Hier werden beispielsweise scanner-spezifische Messfehler, so genanntes Rauschen oder durch die Überlagerung vieler Einzelscans entstandene redundante Daten, also mehrfach vorliegende, identische Punkte, ausgeglichen oder herausgefiltert. In der anschließenden Weiterverarbeitung werden dann Fehlstellen interpoliert oder die Daten in ihrer Auflösung reduziert, um webfähige Dateigrößen zu erhalten oder sie einfacher im 3D-Drucker verarbeiten zu lassen. Daher ist es wichtig auf den GMDs sowohl die Ergebnisse als auch die Rohdaten der 3D-Vermessung zu archivieren, um eine möglichst umfassende Nutzbarkeit zu gewährleisten.

Da jeder Hersteller und jede weiterführende Bearbeitungssoftware ihre eigenen Dateiformate verwendet, diese häufig nicht zwischen verschiedenen Programmen beliebig ausgetauscht werden können und womöglich bereits nach kurzer Zeit bspw. durch ein Softwareupdate oder einer Insolvenz des Herstellers nicht mehr unterstützt werden und lesbar sind, müssen für die Archivierung Datenformate gewählt werden, die hard- und softwareunabhängig verarbeitet werden können. Zudem sollten diese Datenformate unabhängig derzeit verwendeter Programmiersprachen gewählt werden. Für die Auswahl der vorgeschlagenen einheitlichen Formate wurden daher rein textbasierte Dateiformate ge-

sucht. Diese lassen sich durch einfache Texteditoren öffnen, wodurch sich der Dateninhalt auch bei einem Wegfallen der Software durch Informatiker rekonstruieren ließe.

Für die Archivierung der Rohdaten in Form von Einzelscans und Punktwolken haben sich die Formate \*.txt, \*.xyz und \*.las als dienlich erwiesen. Die beiden erstgenannten Formate enthalten für jeden gemessenen Punkt eine Zeile mit Angabe der drei Raumkoordinaten (X-, Y-, und Z-Achse) sowie ggf. Farbwerte in RGB oder die Intensität der Laserreflektion als Grauwert. Das \*.las-Format wurde von der ASPRS – The Imaging and Geospatial Information Society – als Standardformat für Laserscan- und LIDAR-Daten definiert, wodurch eine langfristige Nutzbarkeit gewährleistet sein soll. Das Format ist zwar nicht rein textbasiert, ein Vorteil liegt jedoch beispielsweise in einem deutlich geringeren Speicherplatzbedarf.<sup>27</sup>

Die zu Oberflächenmodellen aufbereiteten Daten sollten in den Formaten \*.stl, \*.obj oder \*.wrl archiviert werden. Das \*.stl-Format wurde Ende der 80er Jahre von 3D-Systems entwickelt und ist seither die gängigste Schnittstelle zum Austausch von 3D-Oberflächenmodellen.<sup>28</sup> Der entscheidende Nachteil liegt darin, dass das Format keine Farbinformationen verarbeiten kann, also lediglich die reine Oberflächengeometrie enthält. Sofern der zu archivierende Datensatz Textur-/Farbinformationen enthält, muss daher auf die beiden anderen Formate zurückgegriffen werden. Sowohl das \*.obj-, wie auch das \*.wrl-Format (oder auch VRML-Format genannt) sind textbasiert und zählen zu den Standardformaten im Umgang mit 3D-Modellen.<sup>29</sup> Das VRML-Format ist zudem ISO/ICE zertifiziert und war als Standard für webbasierte Präsentation von 3D-Modellen vorgesehen.<sup>30</sup> Beide Formate können die Farbinformation direkt innerhalb der Datei als Vertexcolor enthalten, bei höher aufgelösten Texturen empfiehlt sich ein Texturemap, bei dem die Farbinformation in einem oder mehreren separaten TIFFs oder JPEGs bereitgestellt wird.

Für eine einfache Betrachtung der archivierten 3D-Daten wird zudem ein 3D-PDF der Daten auf der GMD hinterlegt. Dieses erlaubt ein schnelles Sichten der Daten ohne eine spezielle 3D-Software zu benötigen. Die im PDF enthaltenden 3D-Modelle sind jedoch, systembedingt, in ihrer Auflösung drastisch reduziert.

## Ausblick

Durch Verwendung der GMD ist die Integrität der Daten gewährleistet, da die Daten unveränderlich in die Oberfläche der Disk eingearbeitet sind. Die hohe Beständigkeit trägt zur Verfügbarkeit und Nutzbarkeit der digitalen Daten bei. Durch die Archivierung der Disks im Tresor des Archivs des BLfD ist die Vertraulichkeit und damit ein Schutz vor Datenmissbrauch gesichert. Der Report beinhaltet alle erforderlichen Metadaten und damit die Informationen zur Sicherung der Authentizität. Durch die Wahl offener und weit verbreiteter Dateiformate wie \*.txt, \*.las, \*.stl, \*.obj und VRML (\*.wrl) ist die Verfügbarkeit und Lesbarkeit der Daten zumindest vorerst gesichert. Jedoch muss die Veränderung und Entwicklung der Dateiformate regelmäßig verfolgt

werden. Da die GlassMasterDisc ein sehr junges Produkt ist, muss auch hier die tatsächliche Beständigkeit und Langlebigkeit in den kommenden Jahren zumindest stichprobenartig überprüft werden. Zudem ist das auf 10 GB limitierte Datenvolumen vorerst ein ungelöstes Problem für die Archivierung großer Datensätze. Das Problem der Archivierung von 3D-Daten bedeutender Kulturgüter scheint dennoch, mit den offenen Dateiformaten und den Möglichkeiten der GMD, einen guten und wichtigen Schritt weitergekommen zu sein. Neben der Archivierung des Bamberger Kaisergrabs sollen künftig auch Datensätze bereits erfasster bayerischer Kulturgüter wie beispielsweise dem Bamberger Reiter, dem Grabmal Papst Clemens II. aber auch neu zu erfassende Objekte archiviert werden.

## Danksagung

Besonderer Dank gilt Frau Julia Trautwein für die Erfassung und Bearbeitung der 3D-Daten im Rahmen ihrer Abschlussarbeit (Archivierungsfähige 3D-Modellierung komplexer Oberflächen am Beispiel des Kaisergrabs im Bamberger Dom. Unveröffentlichte Masterarbeit am Masterstudiengang Denkmalpflege, Universität Bamberg 2016) sowie der Bamberger Dombauhütte für ihre Unterstützung bei der Digitalisierung des Kaisergrabs. Besonders zu erwähnen sind die Kollegen von der 3D-Arbeitsgruppe aufgrund der intensiven Zusammenarbeit im Zuge der Defini-

tion geeigneter Datenformate, hier besonders Herrn Dr. Martin Mach, Leiter der 3D-Arbeitsgruppe und Herrn Dr. Markus Hundemer, der die Diskussion bzgl. der Archivierung von 3D-Daten überhaupt erst angeregt und uns die GMD als mögliche Lösung präsentiert hat. Herrn Dr. Norbert Jung vom Erzbistum Bamberg und Herrn Generalkonservator Prof. Mathias Pfeil vom BLfD sei an dieser Stelle ebenfalls ausdrücklich gedankt für ihre freundliche Unterstützung und Genehmigung für die Verwendung von Bildmaterial zum Bamberger Kaisergrab.

## Abbildungsnachweis

1–6 Max Rahrig

## Anmerkungen

- 1 Fuhrmann, Constanze / Santos, Pedro / Fellner, Dieter: Cultlab3D: Ein mobiles 3D-Scanning Szenario für Museen und Galerien, in: EVA Berlin 2014, Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie, hg. v. Bienert, Andreas / Hemsley, James / Santos, Pedro, Darmstadt/Berlin, 2014, S. 106–109.
- 2 Fuhrmann, Constanze / Santos, Pedro / Fellner, Dieter: 3D-Massendigitalisierung – ein Meilenstein für die museale Nutzung, in: Museumskunde, Bd. 80, H. 1, 2015, S. 58–61.
- 3 Analog zu der Aussage von Prof. Dr. Andreas Georgopoulos (NTUA, Athen, Griechenland und Präsident des ICOMOS Scientific Committee on Heritage Documentation (CIPA): „[...] 3D Archives just preserve a memory [...]“ im Rahmen der Panel Session „3D-Mass Digitization – Future Trends, Challenges and Opportunities“ am 02.03.2017 bei der „3D ARCH – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures“ 01.–03.03.2017, Nafplio, Griechenland.

- 4 Trautwein, Julia: Archivfähige 3D-Modellierung komplexer Oberflächen am Beispiel des Kaisergrabs im Bamberger Dom, unpublizierte Abschlussarbeit im Masterstudiengang Denkmalpflege an der Universität Bamberg, 2016.
- 5 Diemer, Dorothea: Kaisertumba, in: hg. v. Exner, Mathias: Die Kunstdenkmäler von Bayern, Regierungsbezirk Oberfranken, IV, Die Kunstdenkmäler von Oberfranken, Stadt Bamberg, Domberg, 1. Das Domstift, Teil 2: Ausstattung, Kapitelsbauten, Domschatz, Bd. IV, Stadt Bamberg Bd. 2.1/2, 2015, S. 1224 – 1251.
- 6 Die 3D-Arbeitsgruppe am Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege wurde 2013 gegründet, ihre Mitglieder sind: Leiter der Arbeitsgruppe Dr. Martin Mach (BLFD), Dr. Markus Hundemer (BLFD), Dipl. Rest. Jens Wagner (BLFD), Prof. Jörg Maxzin (TH Deggendorf), Prof. Rainer Drewello (Universität Bamberg) und Max Rahrig M.A. (Universität Bamberg).
- 7 Vgl. Diemer, Dorothea 2015 (wie Anm. 5), S. 1232.
- 8 Laut Angabe in: Diemer, Dorothea 2015 (wie Anm. 5), S. 1232.
- 9 UNESCO: Charta zur Bewahrung des digitalen Kulturerbes, Inoffizielle deutsche Arbeitsübersetzung der UNESCO-Kommissionen Deutschlands, Luxemburgs, Österreichs und der Schweiz, 2003, [www.unesco.de/infoteh/dokumente/unesco-erklarungen/charta-zur-bewahrung-des-digitalen-kulturerbes.html](http://www.unesco.de/infoteh/dokumente/unesco-erklarungen/charta-zur-bewahrung-des-digitalen-kulturerbes.html) (19.03.2017).
- 10 Addison, Alonzo: The Vanishing Virtual. Safeguarding heritage's endangered digital record, in: New Heritage. New media and cultural heritage, hg. v. Kalay, Yehuda / Kvan, Thomas / Affleck, Janice, London, New York, 2008, S. 27–39.
- 11 Kacyra, Ben: CyArk 500 – 3D Documentation of 500 Important Cultural Heritage Sites, in: Photogrammetric Week '09, hg. v. Fritsch, Dieter, Heidelberg, 2009, S. 315–320.
- 12 [www.cyark.org/data-use-policy](http://www.cyark.org/data-use-policy) (15.03.2017).
- 13 Vgl. Woldering, Britta: Europeana: Die Europäische Digitale Bibliothek – Entwicklungen und Perspektiven, in: Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie (ZfBB), Bd. 55, 2008, S. 33 und Scholz, Henning: Europeana – Digitale Dienstleistungs-Infrastruktur für Europas Kulturerbe, in: Handbuch Kulturportale, hg. v. Euler, Ellen / Hagedorn-Saupe, Monika / Maier, Gerald / Schweibenz, Werner / Sieglerschmidt, Jörn, Berlin / Boston 2015, S. 125–132.
- 14 Europeana, Die digitale Bibliothek Europas, ist online, in: ZfBB, Bd. 56, 2009, S. 44.
- 15 Ceynowa, Klaus/ Kellner, Stephan: Das bayerische Kulturportal bavarikon – digital, vernetzt, spartenübergreifend, in: Bibliotheksmagazin, H. 1, 2014, S. 8–14.
- 16 Ceynowa, Klaus / Sepp, Florian: Das Landesportal bavarikon in kulturpolitischer Perspektive, in: Bibliotheksmagazin, H. 2, 2016, S. 13–16.
- 17 Ceynowa, Klaus / Kellner, Stephan: Das bayerische Kulturportal bavarikon – digital, vernetzt, spartenübergreifend, in: Handbuch Kulturportale, hg. v. Euler, Ellen / Hagedorn-Saupe, Monika / Maier, Gerald / Schweibenz, Werner / Sieglerschmidt, Jörn, Berlin / Boston 2015, S. 292–300.
- 18 D'Andrea, Andrea: Providing 3D Content to Europeana, in: CAA2015. Keep the Revolution going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, hg. v. Campana, Stefano / Scopigno, Roberto / Carpentiero, Gabriella / Cirillo, Marianna, Oxford, 2016, S. 269–274, Gonizzi Barsanti, S. and Guidi, G.: 3D Digitization of Museum Content within the 3DICONs Project, in: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-5/W1, 2013, S. 151–156, doi:10.5194/isprsannals-II-5-W1-151-2013.
- 19 Ceynowa, Klaus / Kellner, Stephan / Sepp, Florian: Bavarikon – Eine digitale Plattform auch für Museen, in: Museum Heute, H. 48, 2015, S. 52–56 und Horn, Felix: Die 3D-Digitalisierung im Kulturportal bavarikon, in: Museum Heute, H. 50, 2016, S. 80–83.
- 20 Nestor-Handbuch. Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung. Version 2.3, hg. v. Neuroth, H. / Oßwald, A. / Scheffel, R. / Strathmann, S. / Huth, K., 2010, S. 94, <http://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/> (27.03.2017).
- 21 Vgl. Nestor-Handbuch 2010 (wie Anm. 20), S. 94.
- 22 Vgl. Hundemer, Markus im Interview mit Eberling, Friederike / Gleiss, Julia: Digitale Dokumentation. Gegen digitales Vergessen, in: Restauro, H. 8, 2015, S. 28–30.
- 23 Sommermeyer, Christian: Innovative Langzeitarchivierung mit der Glassmasterdisc, in: EVA Berlin 2014, Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie, hg. v. Bienert, Andreas / Hemsley, James / Santos, Pedro, Darmstadt/Berlin, 2014, S. 209–210.
- 24 Vgl. [www.syylex.com](http://www.syylex.com) (20.03.2017).
- 25 Mit Ausblick auf die Speicherkapazitäten heutiger Blu-ray-Discs von über 100 GB ist bei fortschreitender Entwicklung zu erwarten, dass es auch bei der GMD nicht allzu lange dauern wird, bis Speicherkapazitäten in dieser Größe erreicht werden können.
- 26 Vgl. Addison, Alonzo 2008 (wie Anm. 5), S. 39.
- 27 Vgl. ASPRS: LASer (LAS) File Format Exchange Activities, [www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html](http://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html) (27.03.2017).
- 28 Vgl. [www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file](http://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file) (27.03.2017).
- 29 Vgl. für das \*.obj-Format: <http://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm> und für das \*.wrl-Format: [www.web3d.org/standards](http://www.web3d.org/standards) (beide 27.03.2017).
- 30 Das \*.wrl-Format wurde inzwischen offiziell vom \*.x3D-Format abgelöst. Erfahrungsgemäß ist dieses Format jedoch nach wie vor nicht von allen Programmen lesbar, weshalb am alten Standard festgehalten wird.