



H. Jenseits der Digitalisierung – Arbeiten mit virtualisiertem Kulturerbe

→ 3D-Druck, Augustusbrunnen Augsburg,
Balthasar Ableithner, Rekonstruktion, Theatiner-
kirche München, Vermessungstechniken

Die Digitalisierung von Kulturgut geschieht aus vielerlei Beweggründen: für die Dokumentation, die vergleichende Forschung, die – zumindest virtuelle – Bewahrung oder die öffentliche Zugänglichkeit. Oft geht es um Belange der Denkmalpflege, um Konservierungsmaßnahmen, Ergänzungen, um fiktive oder tatsächliche Rekonstruktionen. In der Kunstgeschichte mag das Ziel sein, neue Sichtweisen auf ein Objekt zu finden und Bezüge herzustellen. Die Vermessungstechniken zur Virtualisierung von Kulturgut sind vielfältig und liefern hochauflösende 3D-Modelle in unterschiedlichsten Dimensionen, vom filigranen, kleinteiligen Schmuckstück bis zum komplexen Gebäude. Was aber kann man mit diesen Daten tun? Wie lässt sich das virtualisierte kulturelle Erbe medientechnisch weiterverarbeiten, um es zu nutzen und verfügbar zu machen? Zwei ausgewählte Fallstudien, die vom Team des 3D-Labors der Technischen Hochschule Deggendorf unter der Leitung des Autors realisiert wurden, geben einen Einblick in konkrete 3D-Arbeitstechniken der Digitalisierung, Modellierung und Fertigung im Umgang mit Kulturgut.

H.1 Szenario 1: Theatinerkirche München, Lukas aus der Asche

Eine besondere Herausforderung stellte sich mit der Ergänzung der monumentalen Figur des Evangelisten Lukas in der Münchner Theatinerkirche, die 1670 bis 1672 von Balthasar Ableithner (1614–1705) gefertigt wurde. Die frühbarocke Holzskulptur war bei Bombardierungen im Zweiten Weltkrieg stark beschädigt worden. Sieben Jahre Arbeit wurden benötigt, um die teils verbrannte, teils verkohlte Figur im Zuge einer Restaurierungskampagne wieder zu vervollständigen. In einer Kombination aus traditionellem Bildhauerhandwerk und neuen 3D-Techniken konnten die Fehlstellen nach historischen Fotografien rekonstruiert, in Holz gefertigt und am Torso montiert werden. Die Rekonstruktionen begannen 2008 im Rahmen des »Forschungsprojekts Theatinerkirche«. Die Figur war zu diesem Zeitpunkt aus den nach dem Krieg erhaltenen Teilen wieder zusammengefügt und in der Kirche aufgestellt worden. In einem ersten Schritt galt es, den gesamten Torso des Lukas mit einem Streifenlichtscanner millimetergenau zu digitalisieren. Die Daten standen daraufhin virtuell zur Verfügung und konnten im 3D-Labor weiter bearbeitet werden. Nach historischen Fotografien entstanden mit Hilfe eines maßstäblichen Laser-Sinter-Modells aus Polyamid die Ergänzungen. Dazu wurde die exakte Miniatur des eingescannten Lukas von Hand bildhauerisch ergänzt ⁰¹ und mittels Computertomografie anschließend digitalisiert. So standen am Ende die rekonstruierten Teile digital zur Verfügung und konnten im virtuellen Raum verfeinert werden.



□ 01
Lukas-Modell mit modellierten Ergänzungen (Joerg Maxzin, THD).

Die Arbeit mit den 3D-Modellen brachte unschätzbare Vorteile mit sich: Einer der Vorzüge bestand darin, dass viele Ergänzungen direkt aus den historisch erhaltenen digitalisierten Teilen der Skulptur entwickelt werden konnten. Die nachgebildeten Partien orientierten sich damit so exakt wie möglich am Original. Eine Operation wie das Spiegeln eines Datensatzes war im 3D-Raum mit einem Mausklick in Sekundenbruchteilen erledigt. Ähnlich verhielt es sich mit dem Skalieren, Drehen und Verschieben von Teilen. Die virtuellen Modelle hatten keine Masse, die kraftraubend bewegt werden musste. Es ließ sich mühelos an jede gewünschte Stelle des Objekts heranzoomen. Manche Details und Zusammenhänge konnten überhaupt erst durch die Virtualisierung der Lukas-Figur entdeckt und verstanden werden. Es eröffnete sich ein Überblick im Kleinen wie im Großen, den man am Original nicht hätte bekommen können [02].



□ 02
Lukas-Ergänzungen während der
3D-Modellierung (Joerg Maxzin, THD).

Im Fall des teilweise verkohlten Lukas-Torsos bot die Digitalisierung also eine neue und vielleicht sogar die einzige Möglichkeit, um exakte, passgenaue Ergänzungen in Holz zu erschaffen, die reversibel verschraubt – quasi schwebend – über den zerklüfteten Holzkohleflächen angebracht wurden. Die Grenze des Machbaren wurde mit der Fertigung einer Maske für den Stier ausgelotet. Seine linke Gesichtshälfte war großflächig verkohlt, teilweise waren größere Holzkohlebrocken ausgebrochen, teilweise betrug der Verlust aber nur einen oder wenige Millimetern. Dieser Bereich wurde folglich besonders hochauflösend gescannt. Auf Basis der digitalisierten rechten Kopfseite des Stiers entstand in einem aufwendigen Modellierungsprozess am Ende eine virtuelle Maske für die linke Seite, die teilweise dünn wie Papier war. 3D-Drucktests, eigens erzeugte Negativformen und schließlich eine hauchdünn gefräste Ergänzung aus Ahornholz führten schlussendlich ans Ziel: Der Stier hatte ein glaubhaftes Gesicht zurückbekommen, ohne dass dafür die darunterliegende verkohlte Originalsubstanz weiteren Schaden nehmen musste. Im Mai 2015 wurde die fertig ergänzte Figur

schließlich enthüllt ⁰³. Die Einzelschritte des langjährigen Projekts sind in der ausführlichen Dokumentation »Lukas aus der Asche« dokumentiert, die 2016 von der Technischen Hochschule Deggendorf herausgegeben wurde. ⁰¹

■ 01

Lisa Erdmann, Stefan Hartmann, Joerg Maxzin, Technische Hochschule Deggendorf (Hg.): »Lukas aus der Asche – Auferstandenes Kulturerbe aus dem 3D-Labor«, Lindenberg, 2016.



□ 03

Lukas-Skulptur mit Holzergänzungen (Joerg Maxzin, THD).

H.2 Szenario 2: Augustusbrunnen Augsburg, Brunnbach und Lech

■ 02

Bernd Roeck, Dorothea Diemer, Kerstin Brendel, Martin Mach, Michael Kühenthal (Hg.), Der Augustusbrunnen in Augsburg, Messerschmitt Stiftung, Berichte zur Denkmalpflege, München 2004.

Der Augustusbrunnen am Rathausplatz in Augsburg wurde in den Jahren 1588–94 nach den Modellen des niederländischen Bildhauers Hubert Gerhard (um 1550–1622/23) geschaffen. Die Bronzefiguren der Anlage waren über die Jahrhunderte der Witterung und dem Vandalismus ausgesetzt. Um sie zu schützen, ersetzte man sie nach ihrer Restaurierung seit 1993 sukzessive durch Nachgüsse. **02** 2017 wurden die letzten Repliken am Brunnen angebracht. Die letzten nachgegossenen Flussallegorien, die die Ecken des Brunnenbeckens zieren, wurden im Juni 2016 montiert. Ihre Aufstellung war der Auslöser für eine vergleichende wissenschaftliche Studie zweier Köpfe von originalen und nachgegossenen Bronzeplastiken des Augustusbrunnens. 2017 erarbeitete Benedikt Krieger im Rahmen seiner Masterarbeit im Studiengang Medientechnik und -produktion im 3D-Labor der Technischen Hochschule Deggendorf Wege zur digitalen Archivierung der Bronzeplastiken mittels 3D-Scan-Technologie. Im Sinne eines Kulturerbe-Monitorings wurde eine vergleichende Messung zwischen den Originalen und den Nachgüssen der Flussgötter unternommen. Auf Basis der generierten Datenmodelle wurden im Anschluss vom Autor Möglichkeiten evaluiert, über die berührungsfrei erstellten Digitalisate und moderne 3D-Druck- und Ausschmelzverfahren exakte Kopien herzustellen. Die Studie beschäftigte sich exemplarisch mit den Gesichtern der zwei männlichen Flussgottheiten Lech und Brunnbach. Nacheinander wurden Teile der nachgegossenen Figuren am Brunnen in Augsburg und der Originale, die sich noch in den Metallrestaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege in München befanden, digitalisiert. Für die sub-millimeter-genauen Messungen kam ein Artec® Spider® 3D-Scanner zum Einsatz. Trotz den metallischen, glänzenden Oberflächen, der schwierigen Witterungsbedingungen am Brunnen und der generell aufwendig modellierten Strukturen der Plastiken gelangen überzeugend texturierte 3D-Modelle der beiden Gesichter und ihrer nachgegossenen Pendants. Aus den Ergebnissen der Messungen konnten am Ende für alle vier Köpfe langzeitarchivierbare 3D-Modelle generiert werden. Für die reine Geometrie wurde das STL-Datenformat und für die texturierten Varianten das WRL-Datenformat mit in den Scheitelpunkten integrierten Farbinformationen für die Endausgabe verwendet. **03** Somit sind durch die Studie die ersten präzisen 3D-Modelle der bedeutenden Bronzeplastiken des Augsburger Augustusbrunnens entstanden, die den Anfang für die digitale Archivierung des wertvollen Kulturguts bilden. In einem Soll-Ist-Vergleich ließen sich darüber hinaus die Abweichungen zwischen den Originalen und den Kopien errechnen und farblich codiert visualisieren. Auch wenn die Repliken der auf Basis von Silikonabgüssen entstandenen neuen Bronzegüsse qualitativ sehr hochwertig sind, bestätigte die 3D-Vermessung den zu erwartenden Schwund von rund 2,5 %, der sich beim Erkalten der Bronze einstellt. Bei einer Figur von zwei Metern Größe macht das immerhin fünf Zentimeter aus, was einen erheblichen Unterschied zum Original darstellt. Um die Abweichung am Modell dauerhaft farblich codiert darzustellen, wurde aus dem Ergebnis des Soll-Ist-Vergleichs eine farbige Textur

■ 03

Max Rahrig, Wohin mit all den Scans? Über die dauerhafte Archivierung von 3D-Daten bedeutender Kulturgüter am Beispiel des Bamberger Kaisergrabs, in: Birgit Franz, Gerhard Vinken (Hg.), Das Digitale und die Denkmalpflege. Bestandserfassung – Denkmalvermittlung – Datenarchivierung – Rekonstruktion verlorener Objekte, Veröffentlichung des Arbeitskreises Theorie und Lehre der Denkmalpflege e.V., Bd. 26, Holzwinden 2017, S. 130–139, doi.org/10.11588/arthistoricum.263.348.

generiert. Für das Gesicht des Brunnbachs konnte in einem ZPrinter®-Vollfarb-3D-Drucker ein farbiges, plastisches Anschauungsmodell der Maske im Originalmaßstab erzeugt werden [04].



□ 04
Vollfarb-3D-Druck der Brunnbach-Maske
im Maßstab 1:1 (Joerg Maxzin, THD).

In Kooperation mit der auf 3D-Drucktechnologien spezialisierten Firma Materialise® in Belgien wurde darüber hinaus ein Modell im Maßstab 1:2 im neu entwickelten Tetrashell®-Verfahren aus einem ausbrennbaren Stereolithographie-Harz aufgebaut, welches sich ähnlich wie herkömmlich für den Bronzeguss verwendetes Wachs verhält [05].



□ 05
Stereolithographie-Harz-Modell der
Brunnbach-Maske im Maßstab 1:2
(Joerg Maxzin, THD).

Beim Ausschmelzverfahren verdampft Tetrashell® vollständig, was durch eine in 3D errechnete Wabenstruktur im Innern des Harzmodells begünstigt wird. So ist von vornherein weniger Masse vorhanden, die ausgebrannt werden muss. Zusätzlich wurde das Modell mit Guss- und Abluftkanälen versehen und anschließend einschamottiert. Das so erzeugte verkleinerte Positiv konnte die Kunstgießerei Strassacker in Süßen – die auch bereits die am Brunnen aufgestellten Nachgüsse gefertigt hatte – erfolgreich gießen. Am Ende stand eine kleine qualitativ hochwertige Bronzemaske des Brunnbachs vom Augsburger Augustusbrunnen, die völlig berührungsfrei entstanden war ^[06].

□ 06

Bronzemaske des Brunnbachs im Maßstab 1:2 (Joerg Maxzin, THD).



Durch die freie Skalierbarkeit des 3D-Modells ist nicht nur – wie bei diesem Experiment – eine verkleinerte Replik möglich. Ebenso besteht die Option, den generell zu erwartenden Schwund vorher auszugleichen, um einen Nachguss in tatsächlicher Größe zu erhalten. Es konnte also ein alternativer Weg zur traditionellen Abformung aufgezeigt werden, um Kopien von plastischen, dreidimensionalen Kulturdenkmälern herzustellen. Einschränkungen sind allerdings mögliche Verluste in der Oberflächenqualität, die mit dem Scanverfahren und nicht zuletzt mit dem 3D-Druck einhergehen können. Hier ist die klassische Silikonabformung deutlich überlegen. Auch der Zeitaufwand, um ein qualitativ hochwertiges 3D-Modell zu erstellen, ist in der Regel höher als beim traditionellen handwerklichen Formenbau. Oftmals sprechen aber Gründe gegen eine mechanische Abformung, etwa fragile Oberflächen oder farbige Fassungen. Dann eröffnet die berührungsfreie Methode, die via 3D-Scan zur Replik gelangt, neue Möglichkeiten.

H.3 Fazit

Die beschriebenen Beispiele sind skulpturale Objekte. Im Kontext der Frage nach »digitalen Raumdarstellungen« sind beide Projekte interessant. Die Evangelistenfiguren in der Münchner Theatinerkirche lassen sich ohne den Raum, auf den sie sich beziehen, nicht denken. Was dem Betrachter vom Kirchenschiff aus verborgen bleibt, ist die kulissenhafte Konstruktion der Figuren. Trotz aller bildhauerischen Eleganz und Finesse entlarvt spätestens die seitliche Ansicht im Altarraum ihren bühnenartig improvisierten Aufbau. So ist nur die Frontansicht wirklich ausgearbeitet, Attribute wie Stier oder Löwe bleiben dabei reliefartige Scheiben ohne Körper. Die Figuren spielen ihre Rolle in einer sakralen Gesamtinszenierung, die im Altar ihren Höhepunkt findet. Erwähnt sei an dieser Stelle auch der erfolglose Versuch, die Skulptur des völlig verbrannten Evangelisten Matthäus photogrammetrisch zu rekonstruieren. Dazu wurden mit einer Drohne eine Vielzahl von Fotografien vom Chorraum gemacht, um aus ihnen ein virtuelles Modell zu errechnen, was auch gelang. Leider ließen sich die historischen Aufnahmen des Matthäus, auf denen auch der Chorraum abgebildet war, nicht wie erhofft in Beziehung zu dem errechneten Raummodell bringen. Obwohl sogar stereoskopische Abbildungen darunter waren, fehlten selbst für eine annähernde Rekonstruktion der Figur am Ende zu viele Parameter in den historischen Aufnahmen. Die Fotografen hatten ihre Bilder zu unterschiedlichen Zeitpunkten, mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen und mit unterschiedlichen Kameras aufgenommen – schlechte Bedingungen für eine Rekonstruktion. Hätten nur wenig mehr Fotografien aus der gleichen Kamera zur Verfügung gestanden, wäre der Versuch vermutlich geglückt. Der im zweiten Szenario erwähnte Augustusbrunnen ist als raumgreifendes und platzbeherrschendes Bauwerk nicht minder interessant. Er war als repräsentativer Blickpunkt bewusst in den städtischen Raum gesetzt worden. So entstand mit der in der Mitte des Brunnens aufragenden, den Weg weisenden Bronzeplastik des Kaisers Augustus vor dem Augsburger Rathaus ein visuelles Zentrum: ein Zeichen

an Bürger wie Besucher der Stadt gleichermaßen. Eine Vermessung des gesamten Brunnenensembles für weitere wissenschaftliche Studien steht noch aus. Das Credo dieses Essays ist es also, es nicht bei der Digitalisierung von Architekturen, Plastiken oder anderer Kunstwerke als reinem Selbstzweck zu belassen. Am Anfang jeder Scankampagne sollte ein maßgeschneiderter Aufgabenkatalog stehen:

- Was sind die genauen Fragenstellungen?
- Welchen Mehrwert verspricht die Methode im konkreten Fall?
- Welche Erkenntnisse können (nur so) gewonnen werden?

Der Aufwand, der betrieben werden muss, um gute Digitalisate zu erzeugen, ist nicht unerheblich und es kommt am Ende darauf an, dass man einen sinnvollen Ertrag aus den gewonnenen Daten zieht. Das Ziel muss sein, mit virtualisiertem Kulturerbe tatsächlich zu arbeiten – auch jenseits der Digitalisierung.