

# 3D-Visualisierung und Rekonstruktion mittels Computertomographie

## Untersuchung, Scanning und Rekonstruktion eines gefassten Stuckreliefs

**HAWK**

HOCHSCHULE

FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFT UND KUNST

Hildesheim/Holzwinden/Göttingen



Master-Thesis 2020 - Konservierungs und Restaurierungswissenschaft

Projektbetreuung: Prof. Dr. Ursula Schädler-Saub (HAWK Hildesheim)

Dipl. Rest. Christoph Müller (Städt. Museen Freiburg)

Salome Larina Hunziker (Freiberuflerin, Dozentin)

Freiburg i. Br. - salome.hunziker@gmail.com

### Einleitung

Im Laufe ihrer Geschichte erleben Kunstwerke immer wieder Veränderungen, wie den Verlust größerer Teile ihrer Darstellung. Die Objektgeschichte kann durch historische Fotografien und Archivunterlagen aufgezeigt werden, sofern sie zur Verfügung stehen und ihr Erhaltungszustand dies zulässt. Im Falle von plastischen Kunstwerken können Fotografien das Objekt jedoch nur zweidimensional darstellen, wodurch die Tiefenwirkung und wertvolle Informationen verloren gehen. Wenn Fehlstellen ergänzt und Bereiche neu hinzugefügt wurden, lässt sich anhand der rein optischen Betrachtung nicht immer nachvollziehen, wie die Ergänzung im Inneren des Objekts verläuft und wie viel Originalsubstanz erhalten geblieben ist.

Solche Fragen können durch den Einsatz der Computertomographie (CT) genauer beantwortet werden. Anhand der Untersuchungsergebnisse können die ehemaligen Fehlstellen des Objektes im 3D-Modell rekonstruiert und visualisiert werden. Hierfür wird ein Programm benötigt, in dem die CT-Schnittbilder ausgewertet, dargestellt und als 3D-Modell verarbeitet werden können. Abschließend wird die Herausforderung der 3D-Rekonstruktion anhand von zweidimensionaler historischer Bilder diskutiert.

### Fallbeispiel

Das Augustinermuseum Freiburg stellt ein polychrom gefasstes Stuckrelief (Ende 15. Jahrhundert) aus, das die Anbetung der Heiligen Drei Könige zeigt (Abb. 1). Im Verlauf der Objektgeschichte ging jedoch einer der Könige verloren. Die große Fehlstelle im Vordergrund wurde ohne die Figur wieder geschlossen und an die Umgebung angepasst. Im Archiv der Staatlichen Museen zu Berlin befindet sich eine historische Aufnahme eines vergleichbaren, jedoch verschollenen Stuckreliefs, das die gleiche Darstellung zeigt, jedoch mit einem im Vordergrund mittig knienden König (Abb 2). Durch die Kombination von Computertomographie-Scans und 3D-Visualisierung konnten neuere Ergänzungen identifiziert, entfernt und als 3D-Modell exportiert werden. Der fehlende König wurde anschließend nach der historischen Aufnahme nachmodelliert und in die rekonstruierte Fehlstelle im 3D-Modell eingepasst.

### Vorgehensweise

#### 1. Auswahl der Software

Für die Betrachtung und Auswertung der CT-Aufnahmen gibt es verschiedene kostenlose Anwendungen, die auf die Bildanalyse im medizinischen Bereich spezialisiert sind. Zusätzliche Auswahlkriterien für die Software waren, dass die Schnittbilder in ihrer Gesamtheit als 3D-Punktwolke angezeigt und dass das Modell direkt im Programm bearbeitet, ausgewertet und exportiert werden kann. Es sollte zudem auch einfach zu benutzen und kostenlos für jeden zugänglich sein. Das Programm 3D Slicer ([www.slicer.org](http://www.slicer.org)), welches von Wissenschaftlern aus verschiedenen Fachbereichen entwickelt wurde, erfüllte die Anforderungen und wurde hierfür ausgewählt.

#### 2. Computertomographie-Scan

An der TU München wurde das Relief für die technologische Untersuchung zunächst aufgrund der Sensorgröße in einem hochauflösenden Mikro-CT in drei Teilen gescannt. Für die Erstellung des 3D-Modells wurde das gesamte Relief anschließend in einem Helix-CT aus dem humanmedizinischen Bereich gescannt. In beiden Scans wurden Graustufen-2D-Schnittbilder von allen drei Achsen des Objektes generiert.

#### 3. Segmentierung und Export des 3D-Modells

Unter Segmentierung versteht man die Markierung bestimmter Bereiche in den Schnittbildern, in diesem Fall der Grauwertbereich, der in den Aufnahmen der Originalsubstanz entspricht. Für die Segmentierung wurden alle Schnittbilder des Reliefs einzeln betrachtet und die Bereiche manuell markiert. Ähnlich wie bei Bildbearbeitungsprogrammen wurden Malwerkzeuge für die manuelle Segmentierung verwendet, wobei das Programm mit Voxeln, die Raum angeordnet sind, arbeitet statt mit zweidimensionalen Pixeln. Eine gleichzeitig generierte 3D-Visualisierung lieferte direktes visuelles Feedback, um den Benutzer beim Segmentierungsvorgang zu unterstützen. Die markierten Bereiche in den Querschnitten wurden später als 3D-Polygonnetz exportiert.

Die manuelle Segmentierung kann auch fehleranfällig sein, wenn bestimmte Graustufenbereiche falsch interpretiert werden oder die Markierung nicht sauber durchgeführt wird. Diese Technik wird in der Archäologie schon seit einiger Zeit angewandt, wie beispielsweise die CT-Untersuchung und Segmentierung eines römischen Münzfundes in Yorkshire zeigt.<sup>1</sup> Im Bereich der Konservierung und Restaurierung ist jedoch keine vergleichbare Publikation bekannt, in der die Segmentierung mit einem kostenlosen Programm wie 3D Slicer durchgeführt wurde.

#### 4. Rekonstruktion des verlorenen Königs

Die digitale Rekonstruktion des verlorenen Königs begann mit einer händischen Modellierung. Eine der größten Herausforderung bestand darin, das richtige Gefühl für die Plastizität, Höhe und Winkel der Falten sowie der Gesichtszüge zu bekommen. Ein ähnliches Problem ergab sich bei der Rekonstruktion der lebensgroßen, vollplastischen Figur des Evangelisten Lukas in der Theatinerkirche St. Kajetan in München, die während des Zweiten Weltkriegs nahezu zerstört wurde. Große Teile der Figur mussten auf Grundlage einer einzigen Frontalaufnahme rekonstruiert werden. Zudem musste der Stil des Künstlers imitiert werden. Eine der erhaltenen Figuren diente dafür als Stilvorlage.<sup>2</sup> Diese Art der digitalen Rekonstruktion hat bisher jedoch noch Ausnahmecharakter.

Der modellierte König wurde anschließend mittels Photogrammetrie (structure from motion) digitalisiert, im 3D-Grafikprogramm Blender nachbearbeitet und an die Kanten der Fehlstelle in der Mitte des segmentierten 3D-Modell eingepasst. Hierbei müssen jedoch Aspekte der Restaurierungsethik berücksichtigt werden: Trotz der Tatsache, dass eine zuverlässige fotografische Vorlage zur Verfügung stand kann die fehlende Tiefenperspektive während der Modellierung zu Fehlinterpretationen führen. Der hypothetische Charakter sollte hierbei so klein wie möglich sein. Um klar zwischen freier Rekonstruktion und Originalsubstanz unterscheiden zu können, wurden beide Teile unterschiedlich eingefärbt.

### Ergebnis und Reflektion

Durch die Segmentierung der Schnittbilder und die digitale Rekonstruktion sind zwei 3D-Modelle entstanden, welche die Objektgeschichte des Reliefs visualisieren. Hierdurch konnte für dieses Objekt erstmals gezeigt werden, wie viel Substanz des Originalreliefs erhalten geblieben ist und welche Bereiche modifiziert wurden. Die Visualisierung und die Verarbeitung der CT-Bilder als 3D-Modell bietet ein großes Potenzial für die Forschung und Vermittlung. Die Einarbeitung in die beiden Programmen 3D Slicer und Blender benötigte viel Zeit, da das Wissen in den Programmen autodidaktisch erworben wurde. Darüber hinaus benötigten beide Programme aufgrund der großen Datenmengen in den Modellen viel Rechenleistung. Trotz der sorgfältigen Durchführung der Segmentierung kann es in Bereichen mit einem ähnlichen Grauwert zu Fehlinterpretationen kommen. Da keines der automatischen Segmentierungsalgorithmen ein fehlerfreies Ergebnis lieferte, musste der Prozess händisch durchgeführt werden, was zeitaufwendig war. Bei der Rekonstruktion des fehlenden Königs war es schwierig, den richtigen Stil für die überdehnte Körperhaltung, die Gesichtszüge sowie die Formgebung der Hände zu finden. Für die Visualisierung der Rekonstruktion ist es wichtig, dass anhand des 3D-Modells nachvollziehbar ist, welche Bereiche rekonstruiert wurden und welche Bereiche die ursprüngliche Substanz visualisieren.



Abbildung 1: Polychromes Stuckrelief "Anbetung der Heiligen Drei Könige", Freiburg, Foto: Axel Killian 2018.



Abbildung 2: Stuckrelief "Anbetung der Heiligen Drei Könige" (Kriegsverlust 1945), Berlin, Vergleichsaufnahme, Fotoarchiv der Staatlichen Museen zu Berlin - Preußischer Kulturbesitz (Scan-Foto-Glasplatte).

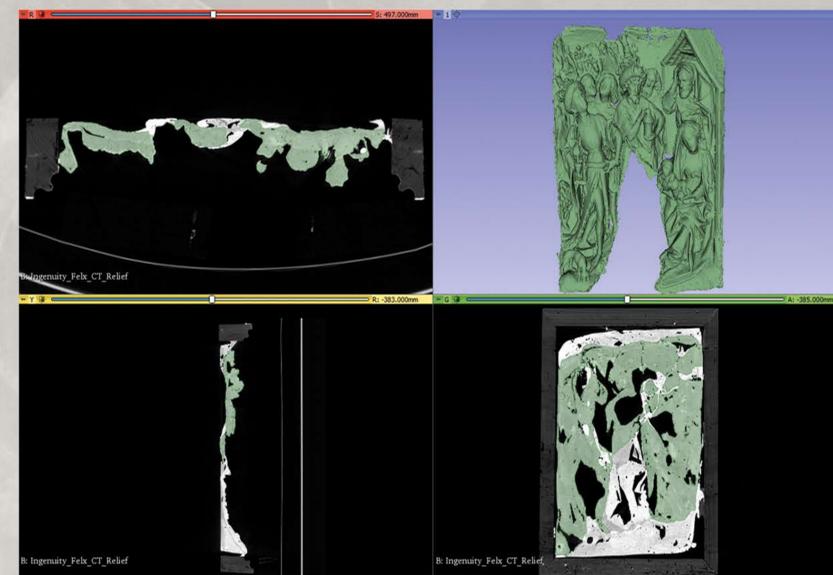


Abbildung 3: Screenshot 3D Slicer im Segmentierungseditor mit segmentierten Schnittbildern und 3D-Visualisierung. Oben: links: Ansicht von oben, rechts: Vorschau des segmentierten 3D-Modells; Unten: links: Seitenansicht, rechts: Ansicht von hinten.



Abbildung 4: Vergleich des manuell modellierten Modells (links) und des digitalisierten, nachbearbeiteten Modells (rechts).



Abbildung 5: Endergebnis der digitalen Rekonstruktion. Links: Das exportierte 3D-Modell des Reliefs nach der Segmentierung ohne neuere Ergänzungen. Rechts: Segmentiertes 3D-Modell mit dem rekonstruierten knienden König nach dem historischen Foto des Vergleichsreliefs aus Berlin. Um die rekonstruierten Teile von der visualisierten Originalsubstanz zu differenzieren, sind die Modelle unterschiedlich gefärbt.

#### Quellen und Referenzen

1 Miles, James et al.: The use of computed tomography for the study of archaeological coins; in: Journal of Archaeological Science: Reports Volume 6, April 2016, P. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.019>

2 Maxzin, Joerg: Der Bozzetto oder die Suche nach der verlorenen Form, in: Technische Hochschule Deggendorf (Hrsg.): Lukas aus der Asche, Auferstandenes Kulturerbe aus dem 3D-Labor, erste Auflage, Lindenberg im Allgäu 2016, S.115-139.



Hunziker, Salome Larina:  
Aus Zwei mach wieder Drei:  
technologische Untersuchung und digitale Rekonstruktion des gefassten Stuckreliefs „Die Anbetung der Könige“ im Augustinermuseum Freiburg; Master-Thesis HAWK, Hildesheim 2020.