

1 Die Laservermessung der Georgfigur durch die Firma Steinbichler. Foto: GNM



2 Hl. Georg, polygonales Modell des Laser-scans. 3D-Rendering: Hochschule Ansbach, Christian Barta, Alexander Dumproff

Christian Barta

## **1— Die computergrafische Umsetzung der restauratorischen Untersuchung**

Die Computergrafik bietet neue Wege, Kunstgegenstände virtuell und fotorealistisch in ihrem Ausgangszustand wieder erstehen zu lassen. Diese Visualisierungstechniken sind Stand der Technik sowohl in der Architektur- und Produktvisualisierung als auch in der Unterhaltungsindustrie, wurden bislang jedoch noch kaum für Visualisierungen in den Restaurierungswissenschaften genutzt. Gerade für diesen Bereich bieten sie aber große Chancen im Vergleich zu derzeit genutzten Techniken. Diese liegen im professionellen Bereich, beispielsweise bei der Beurteilung und Diskussion von Untersuchungsergebnissen, genauso wie in der Vermittlung auf musealer Ebene.

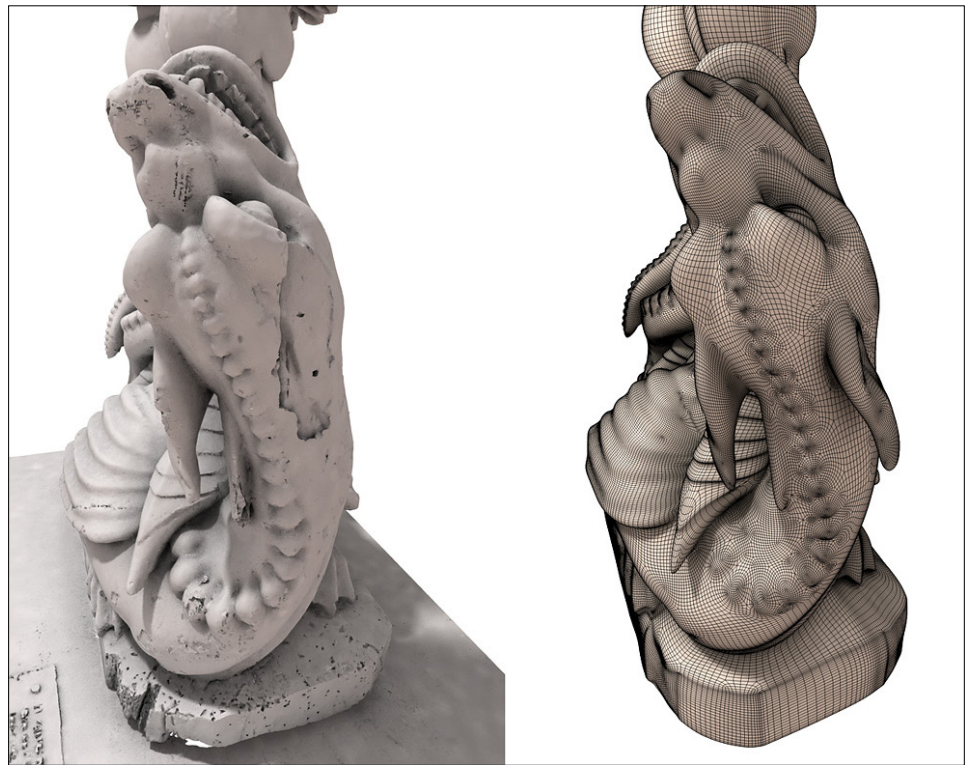
Dass dies ein völlig neues und auch für Restaurierungswissenschaftler ungewohntes Werkzeug darstellt, zeigte sich im Verlauf des Projekts häufig. Die erzielten Ergebnisse, gerade bei der Simulation von Oberflächen, wurden oft zunächst angezweifelt, stellten sich nach vergleichender Betrachtung von realen Oberflächenmustern aber als richtig heraus. Die fotorealistische Visualisierungstechnik wird sich hier ihr Vertrauen noch erarbeiten müssen.

Die derzeitigen Herausforderungen in diesem Bereich lassen sich auf einige Themenbereiche eingrenzen.

### **Virtuelle Rekonstruktion der Georgfigur – Grenzen des 3D-Scannens**

3D-Scanverfahren sind Stand der Technik in der Archäologie und ebenso in den Restaurierungswissenschaften. Es liegt also nahe, sich auch bei einer virtuellen Rekonstruktion dieser Verfahren zu bedienen (Abb. 1 und 2).

3a,b Hl. Georg, Drache,  
3D-Scan im Vergleich mit  
der Neumodellierung.  
3D-Modell: Hochschule  
Ansbach, Christian Barta,  
Alexander Dumproff



Im konkreten Projekt erwies sich das angewandte Scanverfahren allerdings als ungeeignet. Bei genauerer Betrachtung des gescannten Modells (3D-Laserscan mit 0,14 mm Auflösung) zeigten sich mehrere Probleme:

- Die Auflösung des Scans reichte bei weitem nicht für die Erfassung der feinen Details, z.B. bei den Applikationen oder dem Bart des Georg.
- Die durch den Fassungsverlust entstandene unebene Oberfläche des gescannten Modells machte eine Rückführung in einen virtuellen Neuzustand nahezu unmöglich.
- Auch das durch die Umwandlung der Punktwolke des Scans entstandene, sehr unregelmäßige Polygonnetz erschwerte jegliche Weiterbearbeitung des 3D-Modells. Eine automatisierte adaptive Reduktion<sup>1</sup> des Netzes, also die Umwandlung in ein Polygonnetz, das eine an die Komplexität der Flächen angepasste Auflösung aufweist, konnte ebenfalls aufgrund der Unebenheiten nicht funktionieren. Das System war nicht in der Lage, zwischen Details der Unebenheiten, die aufgrund der Fassungsverluste entstanden waren, und den ursprünglich angelegten, vom Künstler gewollten Oberflächen zu unterscheiden.

Aus diesen Gründen wurde im Rahmen eines Vorprojekts die Neumodellierung der Skulptur anhand eines Teilbereichs erprobt. Hierzu wurde der vorhandene 3D-Laserscan als Vorlage verwendet, und der Computerdesigner modellierte exakt an der Scanoberfläche. Das neu entstandene Modell erwies sich als überzeugendes Testergebnis. Zum Einsatz kamen Modellieretechniken aus dem Bereich des Charactermodelling, unter anderem Subdivision Modelling.<sup>2</sup> Bei der folgenden Neumodellierung wurde konsequent mit 4 Punktepolygonen gearbeitet, um die folgende Texturierung der Fassung verzerrungsfrei erstellen

<sup>1</sup>– Martin Reddy: SCROOGE: Perceptually-Driven Polygon Reduction. In: Computer Graphics Forum 15, 1996, Nr. 4, S. 191–203. <sup>2</sup>– Jos Stam: Exact Evaluation of Catmull-Clark Subdivision Surfaces at Arbitrary Parameter Values. Proceedings of SIGGRAPH'98. In: Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH, 1998, S. 395–404, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/280814.280945>.

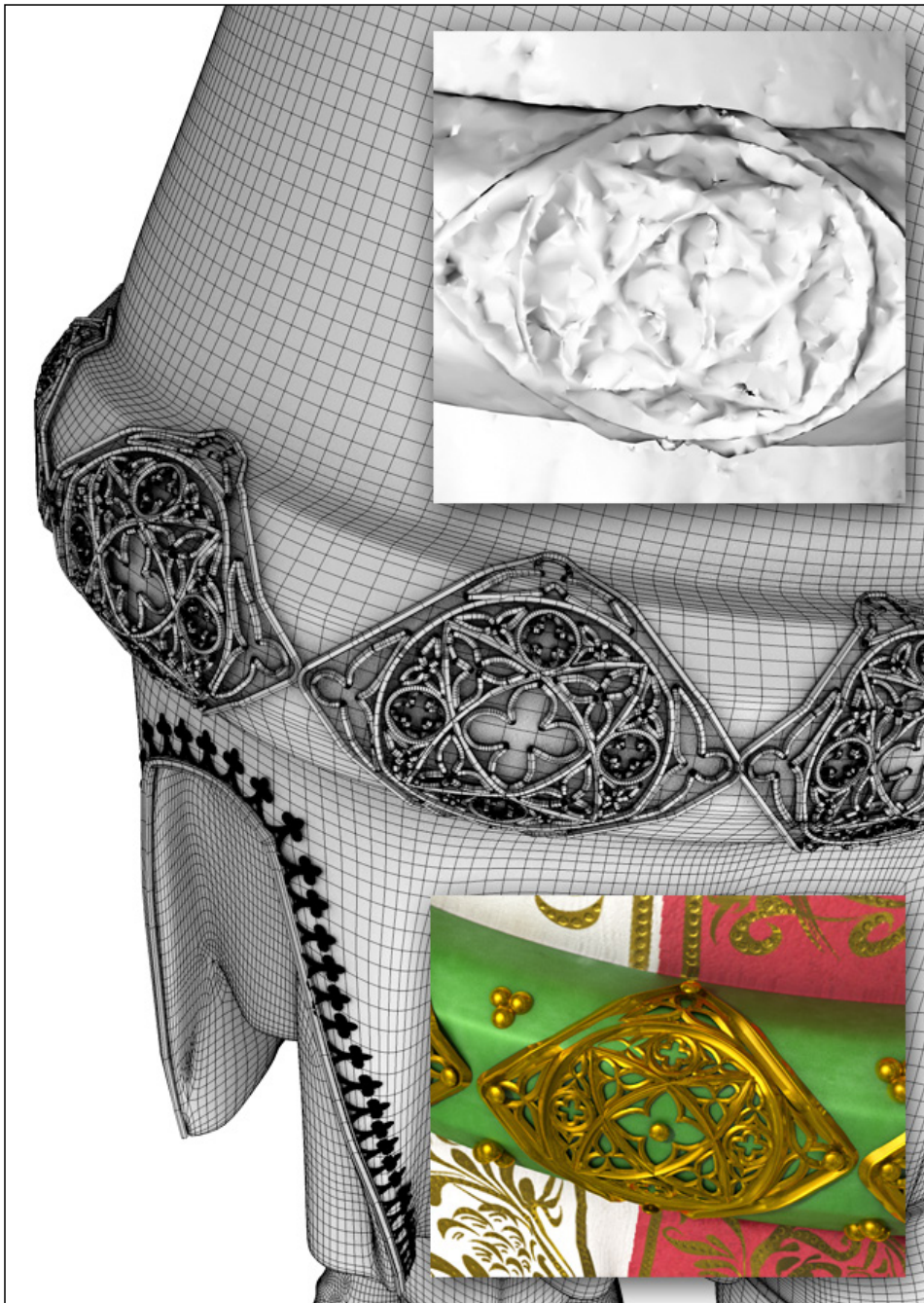


zu können. Die Rekonstruktion der Fehlstellen der skulpturalen Formen (u.a. Ohr des Drachen, Lanze, Reliquiar) basiert auf den restauratorischen Angaben (Abb. 3a,b und 4).

## Virtuelle Oberflächen – Malerei und Mathematik

Mit der Rekonstruktion der Fassung stellt sich die Frage, wie die Erkenntnisse aus einer restauratorischen Untersuchung einem Computergrafiker so vermittelt werden können, dass dieser in der Lage ist, die virtuellen Oberflächen zu entwickeln. Es muss eine gemeinsame Sprache gefunden werden, die es dem Computergrafiker als restauratorischem Laien ermöglicht, die visuellen Qualitäten und Merkmale der Oberflächen zu erkennen.

Hierzu dienten Studien mit Vergleichsoberflächen. Diese Oberflächen wurden entweder in ihrem ursprünglichen Schichtenaufbau rekonstruiert, oder man nutzte vergleichbare Oberflächen anderer Skulpturen aus dem Be-



4 Hl. Georg, Waffenrock, Details, 3D-Scanmodell des Dusingbeschlags (oben), Neumodellierung des Dusingbeschlags und Waffenrocks (Mitte), virtuelle Rekonstruktion in Farbe (unten). 3D-Rendering: Hochschule Ansbach, Alexander Dumproff

stand des Germanischen Nationalmuseums (GNM). Auf diesem Weg ließ sich eine gemeinsame Diskussionsbasis schaffen, von der aus die Parameter, die die Oberfläche in ihrer visuellen Erscheinung bestimmen, weiter verfeinert werden konnten.

Hier galt es zu unterscheiden zwischen Oberflächen, die ein vom Künstler festgelegtes und gestaltetes Muster aufweisen, und anderen, die sich in der Hauptsache durch Parameter wie Farbe, Reflektion und dem Grad der Glätte der Oberfläche bestimmen lassen. Die charakteristischen Merkmale dieser zweiten Gruppe wirken in ihrem Bild eher zufällig und rühren größtenteils von Bearbeitungsspuren wie z.B. dem Polieren oder dem Pinselauftrag her. Im Projekt wurde versucht, diese Spuren auf prozeduralem Weg zu erzeugen<sup>3</sup>, d.h. mathematische Algorithmen wurden entwickelt, die sich selbst ähnelnde, aber sich nie gleichende Muster erzeugen. Dieses Verfahren hat zudem den großen Vorteil, auflösungsunabhängig zu sein. Die virtuelle Kamera kann also theoretisch unendlich nah an das Objekt herangeführt werden, ohne eine Unschärfe in der Textur zu erzeugen.

Sehr viel komplizierter und eine der großen Herausforderungen des Projekts war die Rekonstruktion der Gestaltung des Waffenrocks, ein in mehreren Schichtenfolgen aus Metallbeschichtungen und Farben komplex angelegtes Muster. Das Hauptmuster des Waffenrocks wurde im Zuge der begleitenden Untersuchung von der Skulptur auf Papier übertragen, und die Fehlstellen wurden zeichnerisch ergänzt. Um dieses Muster nun auf die komplexe, in sich gekrümmte Geometrie des Modells zu übertragen, musste diese zunächst zerlegt und flach aufgespannt werden (analog einer flexiblen Fläche). Mittels UV-Mapping<sup>4</sup>, einem Texturprojektionsverfahren, kann man dann das Muster aufbringen. Die konsequente Neumodellierung auf Basis von Vierpunktpolygonen ermöglichte erst die verzerrungsfreie Texturierung mit diesen komplexen Mustern, die mit dem gescannten Dreipunktnetz nicht adäquat möglich gewesen wäre.

## Bildberechnung – Licht und Farbe

Der Grad des Fotorealismus, den eine virtuelle Rekonstruktion aufweisen kann, hängt in starkem Maße von der Beleuchtungssimulation und, besonders im Falle von reflektierenden Materialien, der Umgebungssimulation ab. Aus diesem Grund kann es nicht nur eine, aus Sicht der Farbechtheit und des Realismus, richtige Darstellung geben. Für das Georg-Projekt wurden für die jeweiligen Situationen High Dynamic Range Images (HDRI) erstellt<sup>5</sup>, Bilder, die die komplette Licht-, Farb- und Umgebungsinformation einer Szene enthalten und mit deren Hilfe man eine höchst realistische Bildberechnung der virtuellen Szene erreichen kann. Zunächst wurde für die Überprüfung der Materialien an der virtuellen Rekonstruktion ein neutrales HDRI-Bild ohne Lichtfärbung und mit einer beliebigen Umgebungsszene erstellt, um eine neutrale Basis für die Beurteilung der Oberflächenwirkung zu gewinnen. Anschließend konnte mit

<sup>3</sup>– David S. Ebert u.a.: *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*. 3. Aufl. San Francisco 2003. <sup>4</sup>– Dan Piponi, George Borshukov: *Seamless Texture Mapping of Subdivision Surfaces by Model Pelting and Texture Blending*. In: *ACM SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings*, August 2000, S. 471–478. <sup>5</sup>– Erik Reinhard, Greg Ward, Sumanta Pattanaik, Paul Debevec: *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. Amsterdam 2006, S. 7.





5 Die virtuelle Figur des hl. Georg auf einem Steinsockel vor der Altarfront der Heilig-Kreuz-Kapelle in Burg Karlstein.  
Visualisierung: Hochschule Ansbach, Christian Barta

weiteren HDRI-Bildern die Wirkung der Oberflächen in unterschiedlichsten Raum- und Lichtsituationen überprüft werden.

Im Bildbeispiel wurde das HDRI-Bild am Standort der realen Skulptur im GNM erstellt. Deutlich ist die warme Lichtfärbung aufgrund der Kunstlichtbeleuchtung im Ausstellungsraum auf dem Rendering der Skulptur zu erkennen. Der Einsatz dieser Technik ermöglicht auch die Simulation eines potenziellen früheren Standorts der Skulptur.

## Nutzen einer virtuellen Rekonstruktion

Worin liegt nun der Nutzen einer virtuellen Rekonstruktion? Neben den Möglichkeiten in der wissenschaftlichen Arbeit und der Ausbildung liegt ein großes und bisher weitgehend ungenutztes Potenzial in der Vermittlung. Diese Vermittlung

kann sowohl in Museen durch einen gut durchdachten Medieneinsatz erfolgen, aber vor allem auch in der Nutzung zeitgemäßer Medienangebote. Eine mögliche Verwertung zeigt die in diesem Projekt erstellte Webanwendung, die es erlaubt, die Fassung der Skulptur in ihrem Schichtenaufbau darzustellen. So lässt sich die Figur in jeder einzelnen Schicht frei drehen und in Detailbildern vergrößert studieren. Erläuternde Texte ergänzen die Anwendung.

Während sich diese Anwendung an Spezialisten und interessierte Laien wendet, sind ebenso didaktische Anwendungen oder Webangebote auf Basis der virtuellen Darstellung möglich. Das Computermodell könnte Grundlage für eine Augmented-Reality-Anwendung sein, über die sich die Rekonstruktion zeitgleich mit der Originalskulptur betrachten lässt. Solche mobilen Applikationen auf Basis von Tablets und Smartphones würden den Medieneinsatz in der Ausstellung völlig losgelöst von der Ausstellungsarchitektur realisieren und zusätzlich noch die Möglichkeit der Vor- und Nachbereitung zum Ausstellungsbesuch für die Nutzerinnen und Nutzer bieten.

## Fazit aus Sicht der computergrafischen Umsetzung

Lohnt der hohe Aufwand, den dieses Verfahren sicherlich mit sich bringt? Wir denken ja, denn der erzielte Realismus, mit all seinen bereits erwähnten Vorteilen, stellt einen großen Fortschritt in der Rekonstruktion von dreidimensionalen Kulturgütern dar. Der Aufwand ist im Vergleich zu der Produktion von Abgüssen deutlich geringer, wofür sich auch nicht alle Objekte eignen. Mittels 3D-Drucktechniken sind hier jedoch ebenfalls, quasi als Nebenprodukt, physische Reproduktionen machbar.

Der erzielbare Realismus ist allenfalls durch die Definition der Oberflächen eingeschränkt. Die Positionierung der Objekte in nahezu alle Raum- und Lichtsituationen stellt zudem neue Möglichkeiten für die kunsthistorische Beurteilung dar – zeichnerische Rekonstruktionen können dies bei weitem nicht leisten (Abb. 5).

Fotorealistische Darstellungen vermitteln den Eindruck hoher Glaubhaftigkeit. Darin liegt das Risiko, die Gefahr, virtuelle Darstellungen als uneingeschränkt glaubhaft zu verstehen. Jede abstrahierte Darstellung lässt Raum für Interpretation, legt sich nicht bis ins Detail fest. Dieser Interpretationsspielraum fehlt bei der fotorealistischen Visualisierung aber nur scheinbar. Diese Tatsache erfordert eine sehr behutsame und gründliche Vorgehensweise und muss naturgemäß den Betrachterinnen und Betrachtern mitgeteilt werden. Die Vorteile wiegen aber nach unserer Meinung das Risiko bei weitem auf. Wie jedes neue und noch ungewohnte Verfahren muss sich die fotorealistische Computervisualisierung ihre Reputation erst erarbeiten.