

**Fabrizio Apollonio, Oliver Hauck**

## Darstellungs- und Vermittlungsformen der digitalen 3D-Rekonstruktion

Im Spannungsfeld von Illusion und Immersion existiert ein breites Spektrum von Darstellungs- bzw. Publikationsformen digitaler 3D-Rekonstruktionen, die sich nicht nur in ihrer Perzeption, sondern auch in ihren technischen Anforderungen sowie im Erstellungsaufwand massiv voneinander unterscheiden. Einleitend soll ein Überblick über die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten und die ihnen immanenten Eigenschaften und Anforderungen gegeben werden. Es soll der Frage nachgegangen werden, ob und inwiefern die Visualisierungsmethode Einfluss auf die Modellerstellung selbst hat und wo die Grenzen zwischen wissenschaftlich fundierbaren, nachvollziehbar zu machenden Entscheidungen und solchen rein künstlerischer Natur liegen. Erstaunlicherweise fand diese Frage bisher im wissenschaftlichen Diskurs wenig Beachtung, im Mittelpunkt des Diskurses stehen momentan hauptsächlich Fragen der Nachvollziehbarkeit der Modellierung (überwiegend dabei die Frage der Verknüpfung des Modells und seiner Quellen). Überleitend in die folgenden Teile soll schließlich die Frage diskutiert werden, ob die allgemein als Desiderata angesehenen Standards für digitale 3D-Rekonstruktionen überhaupt gebraucht werden oder ob es nicht vordringlicher wäre, Werkzeuge zur wissenschaftlichen Diskurseinbindung zu entwickeln, um insbesondere im Hinblick auf den rückwirkenden Umgang mit bestehenden 3D-Modellen und Visualisierungen diese zitierbar zu machen und damit den Rückgriff auf die existierenden Standards wissenschaftlicher Arbeit zu erlauben.

Die Visualisierung mittels Bildsynthese bzw. Rendering bildet die Grundvoraussetzung für den menschlichen Umgang mit digitalen 3D-Modellen. Dies beginnt bereits bei der Modellerstellung durch Echtzeitberechnung in der Grafikpipeline des Computers. Ohne sie wäre das Erstellen von Modellen – allein durch manuelle Eingabe von Punktkoordinaten und deren manuelle Verbindung zu Linien und Flächen – mindestens eine mühevoll Aufgabe, wenn nicht ein Ding der Unmöglichkeit. Aber auch zur finalen Präsentation von 3D-Modellen ist die Bildsynthese – im Standbild, im Film oder auch in immersiven, interaktiven virtuellen Umgebungen – zurzeit das Mittel der Wahl, wenngleich die Verbreitung des 3D-Drucks zur Herstellung haptischer Modelle immer weiter fortschreitet. In diesem Teil finden sich eine Reihe von Beiträgen, die sich mit vielfältigen Fragen und Standpunkten zum Thema

der 3D-Modellvisualisierung im Allgemeinen und zu Darstellungsformen von 3D-Rekonstruktionsmodellen im Speziellen auseinandersetzen.

Unter den vielfältigen Aspekten der digitalen 3D-Rekonstruktion nimmt die Visualisierung des **Endproduktes** zum Zwecke der Inhaltsvermittlung sicher eine Schlüsselrolle ein. Sie beeinflusst direkt den Umgang mit dem durch sie assoziierten Inhalt, sowohl durch den Rekonstruktionsprozess selbst als auch durch den Grad an Ikonizität in der Vermittlung von Information und Wissen über die Artefakte und Gebäude: Die Erinnerung im Bild ist eben standhafter als alles abstrakt Vorgetragene.

Dabei hat die digitale 3D-Rekonstruktion so viel mehr zu bieten als die bildhafte Visualisierung. Die Fragen nach Dokumentation, Analyse und Interpretation von Quellen und gar von Mitteln, Werkzeugen, Methoden und Techniken, die vor jedem visuellen Ergebnis entscheidend wirken, sind in den anderen Kapiteln dieser Publikation – und in etlichen vorangegangenen **01** – umfassend behandelt worden und sollten sich in der Forschung mittlerweile etabliert haben. Dennoch ist in der Regel ausschließlich das Bild als Endergebnis dem Sturm der Kritik ausgesetzt. Der zweite Teil dieses Buches beginnt darum mit einem sehr speziellen Thema (der **Lichtsimation in der digitalen Rekonstruktion historischer Architektur**), anhand dessen **Andreas Noback** (→ **163**) allerdings einige sehr grundsätzliche Fragen des Umgangs der Wissenschaft mit Bildern im Allgemeinen und der Methodik der digitalen Rekonstruktionsmodelle und ihrer Visualisierung im Speziellen erörtert. Er verweist dabei auf den häufig gebrauchten Begriff **artist's impression**, dessen Verwendung in vielen wissenschaftlichen Disziplinen den kritischen Abstand zum bildhaften Werk ausdrückt:

»Dem nüchternen Naturwissenschaftler ist diese Form von **Science Fiction** unheimlich, deshalb verweist er sie lieber in die Welt der Kunst« (→ **165**),

schreibt **Andreas Noback** zugespitzt in seinem Prolog.

Die historischen Wissenschaften können sich in der Auseinandersetzung mit Visualisierungen der Frage nach dem künstlerischen Anteil nicht so einfach entziehen. Lediglich auf die **artist's impression** zu verweisen, wie dies in anderen Disziplinen Usus ist, kommt nicht infrage, ist doch die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Bildwerken eine der Kernkompetenzen zumindest von Bau- und Kunstgeschichte. Zudem sind bildhafte Quellen und ihre Kritik meist die wichtigste Grundlage für die Rekonstruktionen selbst. Einen wichtigen Beitrag zu diesem Themenfeld stellt die **London Charter for the Computer Based Visualisation of Cultural Heritage** (kurz: **London Charter**) dar:

»The Charter defines principles for the use of computer-based visualisation methods in relation to intellectual integrity, reliability, documentation, sustainability and access.« **02**

#### ■ 01

Vgl. z. B. Oliver Hauck, Andreas Noback, Lars Grobe *Computing the Holy Wisdom*. In: Georg Bock, Willi Jäger, Michael Winckler (Hg.): *Contributions in Mathematical and Computational Sciences 3. Scientific Computing and Cultural Heritage. Contributions in Computational Humanities*. Berlin, Heidelberg 2013. Chapter 22 und Oliver Hauck *The use of images as resources and output result in a computer-based light simulation of Justinian's Hagia Sophia in Istanbul*. In: Agnieszka Seidel-Grzesińska, Ksenia Stanicka-Brzezicka: *Obraz i metoda, Cyfrowe spotkania z zabytkami 4*. Breslau 2014.

#### ■ 02

The London Charter Interest Group, *The London Charter, Preamble*, <http://www.londoncharter.org/preamble.html>.

## ■ 03

**Karen M. Kensek, Survey of Methods for Showing Missing Data, Multiple Alternatives, and Uncertainty in Reconstructions, in: CSA Newsletter, 19 (3) 2007; Thomas Strothotte et al., Visualizing Knowledge about Virtual Reconstructions of Ancient Architecture, in: Proceedings of Computer Graphics International 1999, S. 36-43, Kristin Potter et al., From Quantification to Visualization, in: A. M. Dienstfrey et al., 10th Working Conference on Uncertainty Quantification in Scientific Computing (WoCoUQ), August 2011, Boulder, CO, United States, Heidelberg, Cham 2012, S.226-249; Marta Perlinska, Palette of possibilities. PhD Thesis. Lund University, Department of Archaeology and Ancient History 2014; Geeske Bakker et al., Truth and credibility as a double ambition., in: Journal of Visualization and Computer Animation, 14 (3) 2003, S. 159-167; Stefano Borghini et al., La restituzione virtuale dell'architettura antica come strumento di ricerca e comunicazione dei beni culturali, in: Disegnarecon, 4 (8) 2011, S. 71-79; Fabrizio Apollonio et al., 3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of Architectural Heritage., in: Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5-W2-43, 2013, S. 43-48; Maria. D. Vico Lopez, La »Restauración Virtual« según la interpretación arquitectónica constructiva, PhD thesis. Universitat Politècnica de Catalunya 2012; Ropertos Georgiou et al., A London Charter's visualization, in: Proceedings of International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage-Short and Project Papers, VAST'11, 2011, S. 53-56; Emanuel Demetrescu, Archaeological Stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction, in: Theory and practice. 57, 2015, S.42-55; Fabrizio Apollonio, Classification schemes for visualization of uncertainty in digital hypothetical reconstruction, in: Sander Münster et al., 3D Research Challenges in Cultural Heritage II., Heidelberg, Cham 2016, S. 173-197 und Patricia Lulof et al., The art of reconstruction., in: Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress, Marseille 2013, S. 333-336.**

Ihre wichtigsten Ziele sind: intellektuelle und technische Stringenz (**rigour**) in der digitalen Visualisierung des Kulturerbes durchzusetzen, computer-gestützte Visualisierungsmethoden und -ergebnisse so zu dokumentieren und verbreiten, dass sie allgemein verstanden und bewertet werden können, zu ermöglichen, dass computergestützte Visualisierungen einen maßgeblichen Beitrag zum Studium von bestehenden Kulturgütern sowie deren Interpretation und Verwaltung beitragen, sicherzustellen, dass Zugangs- und Nachhaltigkeitsstrategien festgelegt und angewandt werden.

Damit wurde in den letzten Jahren eine Entwicklung aufgenommen und weiter befördert, die nicht nur darauf abzielt, Darstellungsmethoden zu entwickeln und zu nutzen, sondern den Rekonstruktionsprozess selbst – einschließlich seiner Quellen, seiner Unwägbarkeiten und seiner teils willkürlichen Festsetzungen in Visualisierungsstrategien und -methoden – offenzulegen und zu berücksichtigen. Von einem epistemologischen Standpunkt aus betrachtet muss man leider feststellen, dass es bis heute keine fixe Definition von Unwägbarkeit/Unschärfe/Verlässlichkeit/Ambiguität gibt und demnach auch keine standardisierte Methode zur Visualisierung dieser Unsicherheit im 3D-Rekonstruktionsmodell – auch nicht durch die London Charter. ■ 03

## ■ 04

Eric Laufer, Dominik Lengyel, Felix Pirson, Verena Stappmans, Catherine Toulouse, *Die Wiederentstehung Pergamons als virtuelles Stadtmodell*, in: Andreas Scholl, Volker Kästner, Ralf Grüssinger (Hg.), *Antikensammlung Staatliche Museen Berlin. Pergamon. Panorama der antiken Metropole, Petersberg 2011, S. 82–86*. Dominik Lengyel, Catherine Toulouse, *Darstellung von unscharfem Wissen in der Rekonstruktion historischer Bauten*, in: Katja Heine, Klaus Rheidt, Frank Henze, Alexandra Riedel (Hg.), *Von Handaufmaß bis High Tech III. 3D in der historischen Bauforschung. Darmstadt, Mainz 2011, S. 182–186*.

## ■ 05

Z. B. eine Darstellung des Raytracing – also der Strahlverfolgung – einer weit verbreiteten Rendermethode: Dürer, Albrecht: *Der Zeichner der Laute*. Aus der Folge »Die vier Zeichner«. Holzschnitt; 130 x 182 mm. 1525. Dresden: Kupferstich-Kabinett A 996, in der Deutschen Digitalen Bibliothek unter <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/CIMP33WXNW55QQQPOTBURZHCIF-BYIY7P>.

## ■ 06

Zum Beispiel Heron von Alexandria, 1. Jh. n. Chr., der ähnlich wie 1400 Jahre später Dürer von »Sehestrahlen« schreibt und ebenfalls das Konzept des Raytracings vorwegnimmt. (Heron, *definitiones*, 103)

Der Beitrag von **Nikolaus Heeb und Jonas Christen** (→ 227) zeigt anhand richtungsweisender Praxisbeispiele verschiedene Visualisierungsstrategien. Die Arbeiten von Dominik Lengyel und Catherine Toulouse behandeln ebenfalls den Umgang mit archäologischen Hypothesen und versuchen mit visuellen Strategien, das Phänomen der wissenschaftlichen Unschärfe in 3D-Rekonstruktionen subtil zu vermitteln. <sup>04</sup> Die visuelle Darstellung wissenschaftlicher Unschärfe ist für **Lengyel und Toulouse** eine Methode zur visuellen Repräsentation räumlicher Hypothesen, die auf den wissenschaftlich-hypothetischen Charakter, die Intuition und ihr gegenseitiges Wechselspiel Bezug nimmt. Es geht dabei sowohl um die Schaffung einer unmittelbaren räumlichen Umsetzung der wissenschaftlichen Hypothese selbst als auch ihres hypothetischen, unsicheren Charakters. Das Phänomen wird als darzustellende Unschärfe definiert.

Unschärfes, nicht voll umfänglich gesichertes Wissen ist ein essenzielles Kennzeichen von Wissenschaft, und so stellt sich grundsätzlich die Frage nach einer adäquaten visuellen Umsetzung dieses Problems. Dies gilt noch viel mehr für Projekte, bei denen die Grundlagen gar keine komplette Rekonstruktion eines wie auch immer gearteten ursprünglichen Zustandes ermöglichen. Vorgeschlagen und erprobt wird beispielsweise, mit Mitteln der tradierten Architekturdarstellungswerkzeuge Szenerien darzustellen, in denen die unterschiedlichen Grade von Unschärfe durch in unterschiedlichen geometrischen Abstraktionsstufen modellierten Bauteilen / Objekten ausgedrückt werden, um dann die Methoden der traditionellen Architektur fotografie zu nutzen, damit trotz der Abstraktion ein möglichst realistischer Raumeindruck erzeugt werden kann. Bezüglich der realistischen Raumwahrnehmung gehen **Dmitry Karelin und Maria Karelina** (→ 187) noch wesentlich weiter: Sie diskutieren kritisch die üblichen Rendermethoden, die teilweise auf Techniken aus der Renaissance <sup>05</sup> bzw. der Antike <sup>06</sup> zurückgehen, und stellen, basierend auf dem Werk Boris Rauschenbachs, interessante Möglichkeiten der Anpassung von Renderings an die Besonderheiten des menschlichen Auges dar: der gewählte Bildwinkel, der von der Art der Präsentation sowie Größe und Form des zu visualisierenden Gebäudes abhängt, die Eigenheiten des Bildmittelpunktes, die Diskussion seiner Position im Raum und die Eigenheiten der räumlichen Komposition, die bis zum Ausblenden von Bauteilen führen, die zwar nach traditionellen (s. o) Perspektivregeln sichtbar wären, aber sich dennoch der Wahrnehmung durch den Menschen vor Ort entziehen würden. Ein interessanter Ansatz, wenn man bedenkt, wie weit sich z. B. antike Architekten und Ingenieure mit solchen Fragen befassten.

So fragt beispielsweise Heron von Alexandria in den sogenannten definitiones: »Was ist Skenografie?«, um dann sehr anschaulich die Anwendung der Enthasis bei Säulen und hohen Gebäuden zu erklären:

»Der skenographische Teil der Optik untersucht, wie man die Bilder von Gebäuden malen soll; denn da die Dinge nicht so erscheinen, wie sie sind, überlegt man, wie man nicht die vorliegenden Verhältnisse aufzeigen soll, sondern sie so ausführen, wie sie erscheinen werden. Und Ziel des Architekten ist es, das Werk für die Erscheinung harmonisch zu machen und, soweit möglich, Gegenmittel zu erfinden gegen die Täuschungen des Auges, indem er nicht nach der wirklichen Gleichheit und Harmonie strebt, sondern nach der für das Auge erscheinenden. So bildet er die zylindrische Säule, da sie für das Auge in der Mitte verjüngt und daher gebrochen erscheinen würde, an dieser Stelle dicker, und den Kreis zeichnet er zuweilen nicht als Kreis, sondern als Ellipse, das Quadrat gestreckt, und mehrere verschieden große Säulen in verschiedenen Proportionen nach Anzahl und Größe.« **07**

■ 07

Hero Alexandrinus, *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, Vol. 4, *Heronis definitiones cum variis collectionibus*, *Heronis quae feruntur geometrica*, Nachdruck, Stuttgart 1976.

■ 08

Arndt Hennemeyer, *Zur Lichtwirkung am Zeustempel Olympia*, in: Peter I. Schneider, Ulrike Wulf-Rheidt, *Licht-Konzepte in der vormodernen Architektur*, *Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung*, *Schriftenreihe des Architekturreferates des Deutschen Archäologischen Instituts*, Bd. 10, Regensburg 2011, S. 101-110.

Wie sehr sich die Architekten von diesen Einsichten leiten ließen, kann man an den Kanneluren der Säulen des Zeustempels von Olympia erkennen: diese wurden im Grundriss nicht als Kreisbogensegmente, sondern als Korbbögen mit in der Höhe variierenden Radien ausgeführt, um ein möglichst homogenes Schattenbild bei unterschiedlichen Lichteinfallswinkeln zu erzeugen. **08** Mit den Anregungen von **Dmitry Karelin und Maria Karelina** (→ 187) können solche Effekte in Renderprogrammen angemessen berücksichtigt werden, wenn die virtuellen Kameras entsprechend angepasst werden.

**Sebastian Hageneuers** (→ 203) Beitrag verdeutlicht, dass das Bild schon immer Begleiter der Archäologie war, das Spektrum an Bildgenerierungsmöglichkeiten sich jedoch durch die Entwicklung digitaler Technologien stark verbreitert hat (wenngleich es seit jeher von einfachen Zeichnungen zur Illustration essenzieller Aspekte bis zu wahren opulenten künstlerischen Meisterwerken reichte). **Hageneuer** argumentiert klar gegen den scharfen Kontrast zwischen architektonischen 3D-Rekonstruktionen, wie sie als Zutaten in architektonischen Fachpublikationen aber auch coffee-table books zu finden sind, und wissenschaftlicher Arbeit. Er plädiert dafür, Rekonstruktion als nie finalisierbaren work in progress zu betrachten, dem immer neue Erkenntnisse und Sichtweisen hinzugeführt werden. Am Beispiel der Rekonstruktion der Eanna-Zikkurat in Uruk illustriert er seine Auffassung von Rekonstruktion als sich zunehmend weiter verfeinerndem Prozess. Er schlägt vor, unterschiedliche Rekonstruktionsversionen, die auf verschiedenen breiter Quellenlage und unterschiedlich umgesetzten Interpretationsspielräumen basieren, vergleichend nebeneinander zu stellen. So entstünden Ergebnisse, die den wissenschaftlichen Diskurs erweitern und vorantreiben.

**Martin Papirowski** (→ 216) gewährt Einblicke in die Perspektive des Fernsehers auf den visuellen Output digitaler 3D-Rekonstruktionen in Dokumentarfilmen. In seinem Beitrag **Visuelle Echos der Vergangenheit – 3D-Rekonstruktionen im Dokumentarfilm** erläutert er die Vorbehalte, die viele Filmemacher und Filmtheoretiker – insbesondere unter dem Einfluss der 68er Revolution und ihren strengen Anforderungen an den **Wahrheitsgehalt** von Dokumentationssendungen – dem Format Doku-Drama gegenüber hegten: In ihm vereinten sich die Nachteile des Kinos wie des Dokumentarfilms,

denn »wo Hollywood die vermeintliche historische Wahrheit auf dem Altar der Opulenz und Dramaturgie opfert, muss das Doku-Drama in jeder Szene den Anspruch auf historische Korrektheit erfüllen.« (→ 218)

In den letzten zwanzig Jahren sei die digitale 3D-Rekonstruktion zum festen Bestandteil des Genres geworden. Dabei kämen zwei unterschiedliche Formen zum Einsatz: die didaktische Animation und die 3D-Konstruktion, das Reenactment aus dem Computer. **Papirowski** stellt klar, dass die digitale Rekonstruktion niemals hundertprozentig authentisch sein könne und dass kein einziges historisches Monument existiere, das über einen längeren Zeitraum kontinuierlich dokumentiert worden wäre. Hier nähert sich **Papirowski** an das prozessuale Denken **Hageneuers** an:

»Die perfekte Rekonstruktion bleibt indessen eine Illusion, Ziel ist eine Annäherung, die die Illusion der Zeitreise nicht zerstört und den Charakter und die Anmutung eines Bauwerkes trifft.« (→ 221)

Es wurde von uns bewusst auf den Versuch verzichtet, alle visuellen Aspekte der digitalen 3D-Rekonstruktion und deren technische Anforderungen vorzustellen. Stattdessen haben wir uns für eine Präsentation verschiedener Positionen und Möglichkeiten entschieden. Dabei haben wir die Felder des 3D-Druckes und der virtuellen Realität / Augmented Reality (inklusive der Welt der 3D-Computerspiele) außen vor gelassen, um die in der aktuellen Diskussion vertretenen Positionen zu Wort kommen zu lassen. Zudem war und ist es unser Anliegen aufzuzeigen, dass es im Bereich der Visualisierung selbst ganz verschiedene Techniken und Herangehensweisen gibt, deren Anwendung allesamt auch Einfluss auf die Modellierung selbst hat und die für jedes Projekt neu abgewogen und strategisch in den Projekten angemessenen chaînes opératoires eingesetzt werden müssen. Dabei gibt es auch in als einigermaßen gesichert geltenden Feldern, wie den Kameraeinstellungen beim Rendering, noch einiges an Forschung zu leisten – ebenso im Bereich des Lichtes und der Materialeigenschaften, wobei ein besonderer Fokus auf den historischen Materialien liegen wird. Wenn es uns gelungen ist, mithilfe der Beiträge dieses Kapitels ein Bewusstsein dafür zu schaffen, dass die methodischen Fragen nicht nur auf die Modellerstellung begrenzt sind, sondern

die Visualisierungsmittel selbst methodische Fragestellungen aufwerfen, die für jedes Projekt bzw. Objekt der Rekonstruktion neu bewertet werden müssen, ist viel erreicht.

Computergrafik ist eine Wissenschaft. Wie dieser zweite Teil zeigt, sind es nicht die Standards, die fehlen, sondern deren Anwendung durch die Digital Humanities auf diesem Feld. Dazu müssen jedoch zunächst Werkzeuge entwickelt werden, die es den geisteswissenschaftlich orientierten Disziplinen leichter machen bzw. in vielen Fällen überhaupt erst ermöglichen, in diesem Bereich die bestehenden Standards wissenschaftlichen Arbeitens anzuwenden. So ist es bereits heute möglich, ausschließlich aus Open-Source-Software Modelle zu erstellen und fortzuentwickeln, die professionellen Anforderungen genügen. Eine weitere, beinahe banal anmutende Frage ist, warum es bis heute keinen Metadatenstandard für Renderings gibt. Jede Digitalkamera speichert heute die Prozessdaten der digitalen Bildgenese automatisch in dafür vorgesehenen Metadatenformaten mit ins Bild. Warum ist dies bei Renderings nicht möglich? Die Render-Algorithmen sind in allen Softwarepaketen letzten Endes die gleichen, allesamt wissenschaftlich publiziert. Es könnte eine künftige Aufgabe für die AG Digitale Rekonstruktion sein, die Schaffung eines solchen Metadatenformates anzustoßen und die Softwarehäuser dazu zu bewegen, dieses in die Programme zu implementieren.