

Sander Münster, Mieke Pfarr-Harfst

In den historischen Wissenschaften finden digitale Rekonstruktionen seit inzwischen mehr als 30 Jahren als Wissensträger, Forschungswerkzeuge und Darstellungsmittel Verwendung. Dabei hat nicht nur die Zahl der erstellten digitalen Rekonstruktionen in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen, ebenso weisen diese höchst unterschiedliche technische, grafische und inhaltliche Qualitäten auf. Der Einsatz von Methoden digitaler Rekonstruktion in der architekturgeschichtlichen Forschung wird daher seit jeher ambivalent gesehen. Eindrucksvollen Anwendungsbeispielen und Forschungspotenzialen steht eine ganze Reihe durchaus berechtigter wissenschaftlich-methodischer Vorbehalte und Desiderata gegenüber. Vor diesem Hintergrund soll der folgende Teil eine Übersicht methodologischer Grundprinzipien beleuchten und damit verbundene methodische Probleme sowie Lösungsansätze vorstellen.

Was sind Objekte der 3D-Rekonstruktion?

Wie bereits im Aufsatz zu **Begriffen** von Münster ausgeführt, steht im Mittelpunkt digitaler Rekonstruktion die Erschaffung eines räumlichen, temporalen und semantischen virtuellen Modells. Gegenstände digitaler 3D-Rekonstruktionen sind meist Objekte der Architektur und Kunst, zunehmend gewinnt jedoch auch die digitale Rekonstruktion immaterieller Objekte wie Bräuche, Riten oder Tänze an Bedeutung. Hinsichtlich des Arbeitsvorgehens ist zwischen der Rekonstruktion nicht mehr existenter oder nie realisierter Objekte wie beispielsweise von Planungsständen und der Dokumentation noch existenter Objekte zu unterscheiden. Allen Zugängen gemeinsam ist die Notwendigkeit zur **objektbezogenen Interpretation**, welche damit im Gegensatz zur Digitalisierung anhand von akquirierten Daten und semiautomatisch prozessierten Daten wie beispielsweise Laserscans und photogrammetrischen Ansätzen steht.

Werkzeug und Einsatzkontexte

Digitale Rekonstruktionen sind wie kaum ein anderer Bereich der **Digital Humanities** ein Querschnittsgebiet zwischen Forschung und praktischer Anwendung. Entsprechend existieren auch außerhalb von Forschung und Wissenschaft vielfältige Anwendungen – beispielsweise im Kontext von Lehre, musealer Präsentation, virtueller Touristik, Kulturmanagement oder Unterhaltungsmedien. In der Projektpraxis werden jedoch vor allem – und zumeist gemeinsam – Forschung und Vermittlung adressiert. Daneben stellt die Dokumentation von Bauwerken und Bauzuständen, welche häufig mit der Nutzung von Methoden jenseits der interpretativen Rekonstruktion wie beispielsweise einer digitalen Erfassung einhergeht, ein weiteres Anwendungsgebiet dar.

In **Wissenschaft und Forschung** unterstützen 3D-Rekonstruktionen sowohl die Untersuchung von Quellen als auch von historischen Objekten. So werden im Zuge einer digitalen Rekonstruktion Provenienz, Konsistenz und Korrespondenz von Quellen geprüft und beispielsweise Diskrepanzen zwischen Grund- und Aufrissen oder Veduten aufgedeckt. Im Hinblick auf die Erforschung historischer Objekte dienen 3D-Rekonstruktionstechnologien vor allem zur Veranschaulichung der Gestalt eines Objektes oder dessen Wirkung. **01** Doch es gibt noch viele weitere Einsatzgebiete für 3D-Rekonstruktionen im akademischen Bereich: Sie unterstützen die Erforschung von Geneseprozessen wie beispielsweise von historischen Entwurfsprozessen, Realisierbarkeiten oder Bauabfolgen. Sie ermöglichen die De- bzw. Rekonstruktion verschiedener Funktionen und Typologien von Bauwerksgliedern. Digitale Rekonstruktionen dienen als Grundlage verschiedener numerischer Simulationen wie beispielsweise von Wegeanalysen oder statischen Berechnungen. Ein interessantes Anwendungsfeld jenseits des konkreten Objektes stellt zudem der Entwurf hypothetischer Gebäude anhand von Architektursystemen dar, mit welchem sich, wie von Ling **02** beispielsweise für das traditionelle chinesische Architektursystem erprobt, Grenzen und Problemstellen von Architektursystemen ausloten lassen.

Eine wichtige Frage ist die nach **Modell oder Bild**. So steht im Erstellungsprozess die Modellgenese im Vordergrund, der sich daran anschließende Diskurs findet aktuell hingegen beinahe ausschließlich anhand von Bildern statt, welche ein Modell nur partiell und subjektiv abbilden können. Vor diesem Hintergrund ist zu erörtern, inwieweit Sehen und Wissen eine Rolle im Umgang mit 3D-Modellen spielen und ob 3D-Modellierung eine andere Diskursform – nämlich die eines unverfälschten Zugriffs auf das 3D-Modell – erfordert.

In diesem Zusammenhang ist auch zu diskutieren, ob und unter welchen Voraussetzungen **digitale Rekonstruktionen als wissenschaftliche Objekte** gelten können, enthalten sie doch stets Beiträge unterschiedlicher Autoren und eine Vielzahl intuitiver, auf Erfahrungswissen basierender Entscheidungen. Bisher fehlen sowohl eine akademische Kultur als auch konkrete Mechanismen, um digitale Modelle und generierte Bilder wissenschaftlich anknüpfbar und diskursfähig zu machen. Dazu gehören Zugang und Bewertbarkeit von Modellen und Bildern und die Transparentmachung von Autorschaft und Bezügen zwischen Rekonstruktion und Wissensgrundlagen

■ 01

Hubertus Günther, *Kritische Computer-Visualisierung in der kunsthistorischen Lehre*, in: Marcus Frings (Hg.), *Der Modelle Tugend. CAD und die neuen Räume der Kunstgeschichte*, Weimar 2001, S. 111–122.

■ 02

Zhu Ling, Shi Ruoming, Zhou Keqin, *Rule-based 3d modeling for chinese traditional architecture*, in: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim (Hg.), *3D-ARCH 2007*, Zürich 2007.

wie beispielsweise Quellen – Aspekte, welche beispielsweise im Beitrag von **Wacker & Brusckhe** (→ 282) beleuchtet und mit Werkzeugen unterlegt werden. Ferner umfasst dies die Zitierfähigkeit von Teilen oder Arealen in Modellen und Bildern und eine Modifizierbarkeit derartiger Medien durch andere. Hier knüpft auch direkt die Frage nach einer geeigneten Publikation und Verfügbarkeit sowohl des 3D-Modells selbst als auch der dahinterliegenden Daten, Informationen und des darin enthaltenen Wissens an.

Gerade vor diesem Hintergrund stellt es ein Problem dar, dass eine Fülle von **Standards** sowie **Leit- und Richtlinien zum Umgang mit kulturhistorischen Inhalten** existieren, diese jedoch nur eingeschränkte Praxisrelevanz besitzen. Einen spezifischen Rahmen für Rekonstruktionen setzen beispielsweise die Chartas von **London** ⁰³ und **Sevilla** ⁰⁴. Zwar hat sich das Konzept der Metadaten als Ansatz zur Klassifikation und Dokumentation von kulturgeschichtlichen Informationen inzwischen weitgehend etabliert, die existierenden Metadaten- und Dokumentationsstandards als auch deren Umsetzung sind jedoch nach wie vor höchst heterogen. Ebenso stellt sich die Frage, inwieweit Softwarealgorithmen und damit eine technische Prozessierung offengelegt sein müssen.

3D-Rekonstruktionen besitzen durch ihre Eigenschaften Digitalität, Bildsprache und Dreidimensionalität für die Kunst- und Baugeschichte in den drei Anwendungsfeldern Forschen, Vermitteln und Bewahren große Potenziale und – aufgrund der steten technischen Weiterentwicklung – eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten und technischen Applikationen. Im Erkenntnisprozess werden sie durch ihre Potenzial, Wissen im dreidimensionalen Raum zu fusionieren und zu generieren, zum digitalen Wissensträger und somit zum innovativen Arbeitswerkzeug. Darüber hinaus ist es durch diese 3D-Modelle möglich, Raum, Zeit, Inhalt und Objekte zusammenzuführen und den gegenseitigen Bezug zu überprüfen. Es können virtuelle Raumhypothesen erstellt, Fügungsprinzipien sowie Bau- und Ausgestaltungsphasen überprüft werden. Auch die Kontextualisierung von Objekten oder auch bildlichen Darstellungen wie Deckenmalerei zählt zu den Anwendungsmöglichkeiten im Erkenntnisprozess. Durch das Hinzuziehen des Faktors Zeit ist möglich, mittels Simulationen Bewegungsabläufe oder rituelle Handlungen im Raum sichtbar zu machen. Die Vielzahl an technischen Ausgabeformen und Darstellungsarten erlaubt es, passende Anwendungsfälle zu generieren und auf die individuelle Forschungsfrage abzustellen. 3D-Modelle können demnach mit Informationen angereichert, dynamisch weiterentwickelt und auf die unterschiedlichste Art ausgegeben werden.

■ 03

Richard Beacham, Hugh Denard, Franco Niccolucci, *An Introduction to the London Charter*, in: Marinos Ioannides, David Arnold, Franco Niccolucci, Katerina Mania (Hg.), *Papers from the Joint Event CIPA / VAST / EG / EuroMed Event, 2006*, S. 263–269.

■ 04

Sociedad Española De Arqueología Virtual, *The Seville Charter*, <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/>, und Victor Manuel Lopez-Menchero Bendicho, *The principles of the Seville Charter XXIII CIPA Symposium-Proceedings*.

Verfahren und Vorgehen zur Modellerstellung

Die **Erstellungsprozesse** solcher digitaler Rekonstruktionen sind hochkomplex und unterliegen neben den technischen Eigenheiten der jeweils angewandten Software ständigen Entscheidungsprozessen. So ist es nicht möglich, von Erstellungsprozess zu sprechen und diesen als allgemeingültig zu definieren. Trotzdem können bei näherer Betrachtung und Gegenüberstellung einzelner Geneseprozesse Gemeinsamkeiten herausgefiltert werden. **05**

■ 05

Mieke Pfarr-Harfst, Typical Workflows, Documentation Approaches and Principles of 3D Digital Reconstruction of Cultural Heritage, in: Sander Münster, Mieke Pfarr-Harfst, Piotr Kuroczyński, Marinos Ioannides (Hg.), How to manage data and knowledge related to interpretative digital 3D reconstructions of Cultural Heritage?, Cham 2016.

Eine dieser Gemeinsamkeiten liegt in der Definition von **vier Projektphasen – Vorbereitung, Recherche, Datenverarbeitung und Finishing**, die immer durchlaufen werden. Die höchste Komplexität erreicht der Prozess in der Phase der Datenverarbeitung, in der heterogene Ausgangsdaten weiterverarbeitet und zu einem 3D-Modell fusioniert werden. Doch auch hier ist es durchaus möglich, gemeinsame Schritte und Parameter festzustellen und zu definieren. Die **Datenverarbeitung** besteht im Wesentlichen aus der Grundlagenrecherche, dem Modellierungsprozess selbst, der Verifizierung sowie dem Texturieren. Diese vier Schritte unterliegen einem zirkulierenden Verfahren und sind vom Input-Output-Prinzip geprägt – also durch ständige Entscheidungen und das Alternieren zwischen Modellieren und Verifizieren gekennzeichnet. Ergebnis dieser Genese ist ein 3D-Datensatz, der in der Finishing-Phase für die Endanwendung weiterverarbeitet werden kann. Der Projekthintergrund in Form von Intention, Zielsetzung, Projektkontext, beteiligten Partnern, finanziellen Mitteln und der verfügbaren Zeit bildet den Rahmen für das Gesamtprojekt. Diese oben erwähnten Grundpfeiler des Erstellungsprozesses sind unabhängig von den angewandten Methoden oder der Software. Der Querschnitt der im Nachfolgenden dargestellten Methoden und Vorgehensweisen bei der Modellerstellung von **3D-Modelling über Building Information Management (BIM)** hin zur **parametrischen Modellierung** unterstreicht dies. So müssen bei allen erwähnten Methoden die oben genannten Phasen durchlaufen werden und der Prozess wird von unterschiedlichen Faktoren, die sich im Projekthintergrund manifestieren, beeinflusst.

Visualisierungstypologien

Es erscheint als sinnvoll, zunächst die einzelnen **Visualisierungstypologien** und deren Anwendung in diesem Bereich vorzustellen, um eine verbindliche Basis für die folgenden Kapitel zu erhalten. Zu unterscheiden sind dabei **CAD- und CAAD-Anwendungen** einerseits und eine auf reiner **3D-Modellierung** basierende Methode andererseits. Die klassischen Computer-Aided Design (CAD)-Anwendungen sind linien- oder flächenorientiert und werden als digitale 3-Tafelprojektion oder elektronisches Reißbrett bezeichnet. Diese Anwendungen waren die ersten Visualisierungsmethoden für das Bauwesen und die Architektur. Sowohl 2D- als auch 3D-Anwendungen sind unter der Typologie des **Computer-Aided Architectural Design (CAAD)** zusammenzufassen. Diese Anwendungen sind objektorientiert, was bedeutet, dass der Computer auf eine Datenbank mit Architekturelementen und Objekten zurückgreift und somit, insbesondere für die Darstellung von komplexen Gebäudestrukturen, mehr Potenzial besitzt. So erstellt der Computer sowohl 2D-Zeichnungen als auch 3D-Modelle in einem Schritt und der Ersteller kann seinen Gebäudeentwurf direkt in der Dreidimensionalität überprüfen. Sowohl CAD- als auch CAAD-Anwendungen sind am Bedarf des Bauwesens orientiert und auf die dortigen Belange und Prozesse ausgelegt. **06** Daneben steht die Methode der **3D-Modellierung** mittels Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS), Polygonen oder Volumina, hier wird die bauliche Form aus Flächen und Grundkörpern modelliert. Dieses Verfahren ist das bis heute am häufigsten angewendete im Bereich der Visualisierung nicht mehr vorhandener oder nicht mehr sichtbarer baulicher Strukturen im Kulturerbe. Die detaillierte Vorgehensweise ist dabei sowohl vom Ersteller als auch von der verwendeten Software und den zur Verfügung stehenden Werkzeugen abhängig. Grundsätzlich dienen als Datenbasis Grundrisse, Schnitte und Fotografien, mittlerweile aber auch 3D-Modelle aus Scanverfahren. Diese Quellen werden meist sowohl vor als auch während der eigentlichen Modellierungsphasen gesammelt und ausgewertet. Im Gesamtprozess alternieren diese Phasen des Modellierens, in denen die Quellen und die Datenbasis in die Dreidimensionalität transferiert werden, und Verifizierungsphasen, die eine wissenschaftliche Überprüfung des vorhandenen 3D-Modelles durch Experten impliziert. Am Ende des Prozesses entsteht ein 3D-Datensatz, der für die unterschiedlichen Applikationen ausgegeben werden kann.

Das parametrische Modellieren ist neben der oben beschriebenen Methode ein weiterer Ansatz, digitale Rekonstruktionen zu erstellen, der an dieser Stelle ebenfalls erwähnt werden soll. Während mit den bisher genannten Werkzeugen vor allem eine Objektgestalt und Oberfläche in verschiedener Güte nachgebildet wird, dienen Ansätze des BIM und **Geoinformationssysteme (GIS)** der Systematisierung und Prozessierung von Objektvolumina und Objektbeziehungen. Der Ansatz des BIM wird im Beitrag von Martens et al. näher erläutert. Nicht zuletzt bedingen numerische Simulationswerkzeuge wie Computational Fluid Dynamics (CFD), Finite-Elemente-Methode (FEM) oder Beleuchtungsanalysen wiederum spezialisierte Vorgehensweisen bei Modellaufbau und Analysen.

■ 06

Marco Hemmerling, Anke Tiggemann, Digitales Entwerfen. Computer Aided Design in Architektur und Innenarchitektur, Paderborn 2010, S. 14–18

Dokumentation

Während des Entstehungsprozesses digitaler 3D-Rekonstruktionen entwickeln sich diese zu digitalen Wissensträgern, in denen unterschiedliche Ausgangsdaten und Wissensquellen miteinander fusionieren. Wissen, Daten und Informationen sind heterogen und variieren in ihrer Tiefe, sie bestehen aus Fakten, Interpretationen und personengebundenem Wissen. Durch die Vielzahl und der Heterogenität der Quellen, aber auch durch die während der Genese fortlaufend geführten interdisziplinären Diskussionen und Entscheidungen, werden die digitale 3D-Rekonstruktionen mit einer große Menge an Wissen aufgeladen und dadurch selbst zu einer wissenschaftlichen Quelle. Die Abbildung sowohl der Quellen und des Prozesses als auch des Projekthintergrundes sind von daher eine längst überfällige Pflicht im Sinne guter **wissenschaftlicher Praxis** ⁰⁷ und der Erhaltung des **digitalen Kulturerbes** ⁰⁸. Mit der Forderung nach einer adäquaten Dokumentationsstrategie sind gleichzeitig Themen wie Langzeitarchivierung und Langzeitverfügbarkeit, Publikationsstrategie, Nachhaltigkeit, webfähige Anbindung der 3D-Modelle, Qualitätssicherung sowie Usability verknüpft. Hier spielt zudem die Frage nach dem Anwendungskontext eine nicht unwesentliche Rolle. Das Thema der Dokumentation rückt daher gerade in den letzten fünf Jahren vermehrt in den Fokus. Unterschiedliche Lösungsansätze lassen sich erkennen:

■ 07
Deutsche Forschungsgemeinschaft, Grundlagen guter wissenschaftlicher Praxis, Weinheim 2013.

■ 08
Unesco, Charta zur Bewahrung des Digitalen Kulturerbes, verabschiedet von der 32. UNESCO-Generalkonferenz am 17. Oktober 2003 in Paris, 2003.

Eine dieser Strategien stellen **Wacker & Brusckke** (→ 282) in ihrem **DokuVis-System** vor, einer Dokumentationsmethode, die von Beginn an in den Rekonstruktionsprozess integriert werden soll. Der Anspruch liegt hierbei in einer semi-automatisierten, intuitiven Lösung, die dem User neben einer umfassenden Dokumentation auch das Projektmanagement und die projektinterne Kommunikation erleichtern soll. Ein weiterer Ansatz von **Kuroczyński et al** (→ 546) ist die – im Kapitel **Projekt-Portfolio** (→ 432) – ausgeführte Erstellung **virtueller Forschungsumgebungen**, verbunden mit der semantischen Erschießung und der Anbindung der hinter einer 3D-Rekonstruktionen liegenden Quellen und Daten. Der Beitrag von **Grellert & Pfarr-Harfst** (→ 264) stellt dagegen eine eher **niedrigschwellige Lösung** vor, deren Kern die Gegenüberstellung von Quelle und Rekonstruktion und der jeweiligen Argumentation darstellt. Der Prototyp arbeitet hierbei entgegen den ersten beiden Ansätze lediglich mit einem Abbild des 3D-Datensatzes. Trotz aller Unterschiede in der finalen technischen Ausführung der Dokumentation ist feststellbar, dass die Sicherung und Abbildung von Quellen und Prozess als Kern einer digitalen Rekonstruktion allen Ansätzen gemein ist. Lediglich der Transfer in ein anwendbares und möglichst auch editierbares Verfahren und System variiert.