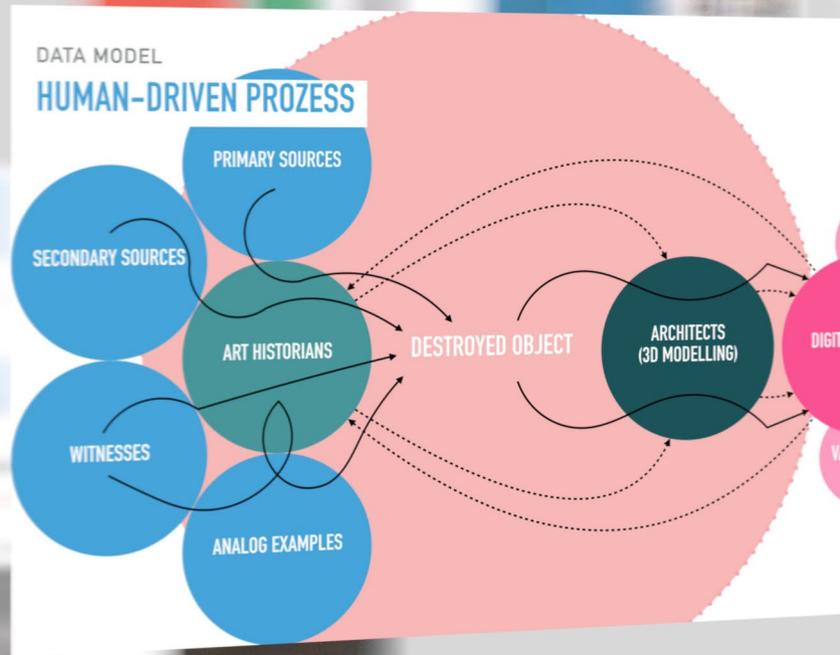
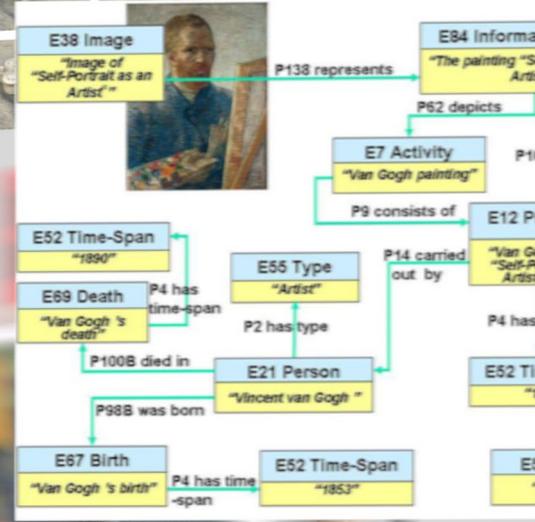
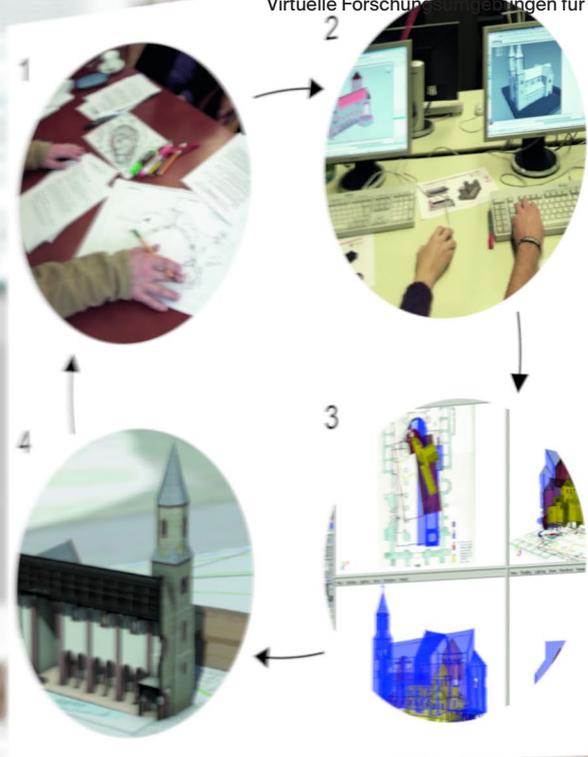


Neuer Forschungsraum für die Kunstgeschichte:
 Virtuelle Forschungsumgebungen für digitale 3D-Rekonstruktionen

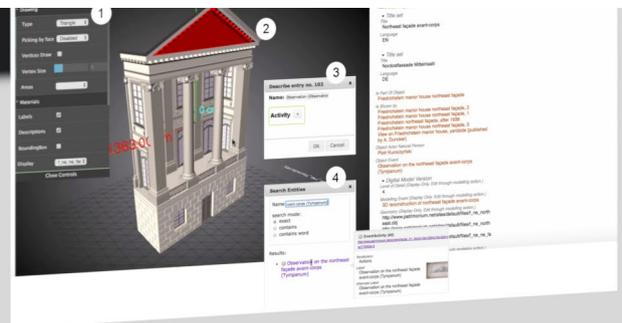
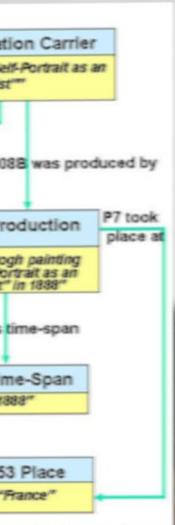


Piotr Kuroczyński

H. Neuer Forschungsraum für die Kunstgeschichte: Virtuelle Forschungsumgebungen für digitale 3D-Rekonstruktionen

→ Virtuelle Forschungsumgebungen, digitale 3D-Rekonstruktion, semantische Datenmodellierung und 3D-Modellierung, Linked Data, Semantic Web, webbasierte 3D-Visualisierung, neue Datenkultur

Der Beitrag beschäftigt sich mit der quellenbasierten 3D-Rekonstruktion im Kontext geisteswissenschaftlicher Forschung. Die Fortschritte in der Entwicklung von 3D-Technologien eröffnen uns heute vielfältige Möglichkeiten digitaler Auseinandersetzung mit dem Kulturerbe. Die quellenbasierte, hypothetische 3D-Rekonstruktion nicht mehr vorhandener Objekte sowie die Retrodigitalisierung der Artefakte mittels 3D-Scan- und Photogrammetrie-Verfahren bieten sich zur Visualisierung und Dokumentation an, die vermehrt webbasiert stattfinden wird. Ein wissenschaftlicher Einsatz, der eine neue digitale Methodik in der objektbezogenen Forschung mit sich bringt, steht jedoch aufgrund fehlender Dokumentationsstandards, Nachvollziehbarkeit und Nachhaltigkeit der Daten aus. Der Autor schildert ausgehend von wissenschaftlichen Pionierprojekten einen vielversprechenden Ansatz einer digitalen Methode, bei der die digitalen 3D-Modelle als wissenschaftliche 4D-Informationsmodelle einen nachvollziehbaren Diskurs an den Modellen und eine nachhaltige Veröffentlichung im Kontext von **Linked Data** und **Open Science** ermöglichen. Ins Zentrum der Betrachtung rücken digitale Forschungsdaten, eine computergerechte Dokumentation und auf Offenheit und Integrität ausgerichtetes Wissen. Schlagwörter, die eine **neue Datenkultur** innerhalb der Digital Humanities auf den Plan rufen.



H.1 Einleitung

■ 01

Manfred Koob, Architectura Virtualis. Konzept für das 1. Digitale Architekturmuseum. Ein Wissenschaftsort für Forschung und Dokumentation der Kunst der Bautechnik im dritten kulturellen Weltgedächtnis. Bensheim 1995.

Seit den 1990er Jahren erfreut sich die digitale 3D-Rekonstruktion und computergestützte Visualisierung des kulturellen Erbes ungebrochener Beliebtheit. In der Begeisterung für virtuelle Rekonstruktion spiegelt sich der urmenschliche Wunsch wider, verloren Geglaubtes wieder zum Leben erwecken zu können. In der Idee einer **Architectura Virtualis** ⁰¹, eines digitalen Architekturmuseums, aus dem Jahre 1995 können wir eine frühe Faszination für einen neuen (virtuellen) Forschungsraum innerhalb der objektorientierten Disziplinen wie Archäologie, Kunstgeschichte und Architektur erkennen.

Trotz der Euphorie der Anfangsjahre erkannte man frühzeitig den Mangel an Dokumentationsstandards und dass dieser zum Verlust von hinter der digitalen 3D-Darstellung verborgenen Informationen, Erkenntnissen und Wissen führt. Aktuelle Forschungsprojekte versuchen der Kritik fehlender Wissenschaftlichkeit digitaler 3D-Modelle mit dem Aufbau **Virtueller Forschungsumgebungen (VFU)** und interoperabler Datenmodelle zu begegnen. Dies könnte den Weg zu neuen Räumen für die Kunstgeschichte ebnen. Basierend auf den methodischen Grundlagen der digitalen 3D-Rekonstruktion werden im Folgenden die Potenziale und Herausforderungen digitaler 3D-Modelle vor dem Hintergrund der aufkommenden **Semantic-Web-** und **Web3D-Technologien** vorgestellt.

Der Beitrag versucht zum einem, die technischen und konzeptionellen Voraussetzungen für digitale 3D-Rekonstruktionen zu beschreiben, zum anderen eine wissenschaftliche Methodik und kollaborative Forschungsumgebungen für eine webbasierte Auseinandersetzung mit kunsthistorischen Fragestellungen anhand digitaler 3D-Rekonstruktionen vorzustellen.

H.2 Das Modell und die digitale 3D-Rekonstruktion

Das dreidimensionale Modell als ein vereinfachtes Abbild der Realität ist ein seit langem bekanntes Medium in der Architektur, der Bildenden Kunst, der Kunst- und Architekturgeschichte sowie der Archäologie. Das Modell kann dabei unterschiedlichen Zwecken dienen. Es kann zur Repräsentation eines existierenden Originals oder zur Vermittlung einer schöpferischen Vision dienen. Daneben ist es wegen der hypothetischen Abbildung zerstörter und nicht realisierter Kunst- und Bauwerke und deren wirkungsvoller räumlicher Vermittlung besonders für die historischen Fächer von großem Interesse. In wissenschaftlichen Publikationen werden die Modelle jedoch hauptsächlich unterstützend in Form von zweidimensionalen Bildern für die textbasierte Argumentation benutzt.

Im Unterschied zu analogen Modellen stehen digitale Modelle der historischen Forschung und Vermittlung ortsunabhängig zur Verfügung. Infolge der rasanten informationstechnologischen Entwicklung beobachten wir seit den 1990er Jahren vermehrt wissenschaftlich begleitete digitale 3D-Rekonstruktionsprojekte. Im deutschsprachigen Raum wären hier die frühen digitalen

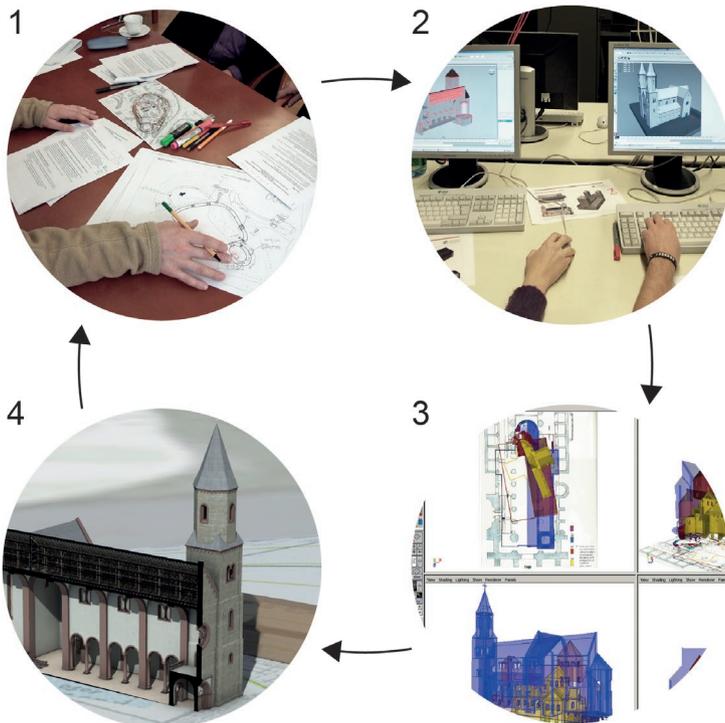
■ 02
 Marc Grellert, Manfred Koob, Agnieszka Lulinska (Hg.), *Synagogen in Deutschland. Eine virtuelle Rekonstruktion*, Basel, 2004 und Bob Martens, Herbert Peter (Hg.), *Die zerstörten Synagogen Wiens – Virtuelle Stadtspaziergänge*, Wien 2009.

■ 03
 Anna Bentkowska-Kafel, *I bought a piece of Roman furniture on the Internet. It's quite good but low on polygons – Digital Visualization of Cultural Heritage and its Scholarly Value in Art History*, in: Murtha Baca et al., *An International Journal of Documentation, Visual Resources, Special Issue on Digital Art History*, vol. 29, No. 1, 2013, S. 38–46.

■ 04
 Piotr Kuroczyński, *3D-Computer-Rekonstruktion der Baugeschichte Breslaus – Ein Erfahrungsbericht*, in: *Jahrbuch des Wissenschaftlichen Zentrums der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Wien*, Band 3, Wien 2012, S. 201–213.

Modelle der TU Darmstadt und TU Wien von zerstörten deutschen Synagogen zu nennen. 02 Dank der großen positiven Resonanz in der Öffentlichkeit, die durch den Eindruck hervorgerufen wurde, verlorenes Kulturerbe zurückgewonnen zu haben, erlangten Modelle dieser Art eine weite Verbreitung. Bis heute haben sich ihre Derivate, allen voran Animationsfilme in Geschichtsdokumentationen und musealen Ausstellungen, fest etabliert. Bei einer näheren Betrachtung fällt dabei der immer größere Fotorealismus der computergenerierten Bilder auf, welcher zum einen durch die technologische Entwicklung, zum anderen durch die Konditionierung der Gesellschaft durch die Spiele- und Filmindustrie angetrieben wird. Gerade die hyperrealistische Darstellung hypothetischer Sachzusammenhänge sorgte in der Wissenschaft von Beginn an für berechnete Kritik an den digitalen Modellen und ihren Derivaten, 03 denn je höher der Realitätsanspruch ist, desto umfangreicher muss die Hypothese ausdifferenziert werden. Dabei ist die Hypothese in der Regel nicht wissenschaftlich dokumentiert und wird demzufolge den Rezipienten vorenthalten bzw. mit historischen Befunden zu einer realistischen Gesamtschau amalgamiert.

Hinter den digitalen Modellen einer virtuellen Rekonstruktion, im Folgenden digitale 3D-Rekonstruktion genannt, verbergen sich eine neue Arbeitsmethodik und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. 04 Alle historischen Rekonstruktionen sind hypothetische dreidimensionale Nachbildungen eines zerstörten Kunst- oder Bauwerks im Digitalen, basierend auf historischen Quellen und ihrer Interpretation – in Abgrenzung zur 3D-Retrodigitalisierung physisch vorhandener Objekte. Die digitale 3D-Rekonstruktion wird von interdisziplinären Prozessen begleitet, bei denen die Quellen erfasst, die Objekte identifiziert, klassifiziert und schließlich im Rechner modelliert und texturiert werden. Bei der Modellierung wird die Geometrie eines Objekts digital nachempfunden und seine Materialität durch das Anbringen von Texturen auf das geometrische Gerüst nachempfunden. 01



□ 01
 Ablauf einer digitalen 3D-Rekonstruktion am Beispiel der Rekonstruktion der Baugeschichte des Breslauer Domes.
 [1] Sichtung und Evaluation der Quellen,
 [2] 3D-Modellierung anhand der Quellen,
 [3] ganzheitliche Betrachtung der rekonstruierten Phasen,
 [4] texturierte 3D-Computervisualisierung (Copyright TU Darmstadt, 2010).

Die Modellierung im virtuellen Raum bietet gleich mehrere Vorteile. Das 3D-Modell wird am Bildschirm ganzheitlich betrachtet: Grundrisse, Schnitte und Ansichten werden nicht mehr separat am Reißbrett angelegt, sondern aus einem globalen Modell je nach Bedarf und Belieben per Knopfdruck abgeleitet, sodass eine Betrachtung im Kontext aller räumlichen Zusammenhänge ermöglicht wird. Aufgrund der fortwährend möglichen Abstimmung mit den Fachberatern lassen sich Varianten leicht versionieren und darstellen. Zudem eröffnet sie eine Vielzahl unterschiedlichster weiterführender Anwendungsmöglichkeiten. Die Spanne der Einsatzmöglichkeiten reicht von etablierten Animationsfilmen über die Einbindung in die interaktive Umgebung einer Spiele-Engine, die Implementierung innerhalb einer immersiven **Virtual-Reality**-Installation oder einer **Augmented-Reality**-Anwendung im physischen Raum bis hin zur Re-Materialisierung der digitalen Modelle via **Rapid-Prototyp**-Verfahren. ⁰⁵ Diane Favro fasst die Vorzüge digitaler 3D-Rekonstruktionen für die bauhistorische Forschung – Ganzheitlichkeit, Prozessorientiertheit und Wissensfusion – folgendermaßen zusammen:

■ 05

Vergleiche den Beitrag von Schweibenz (→ 219) in diesem Band.

»A comprehensive historical digital reconstruction model requires the same amount of information as a new building, compelling scholar modelers to study every single aspect, not solely a parsed segment. The holistic approach reveals valuable information especially during model creation, as scholar modelers must deal with the interrelationships between wall thicknesses, materials, building techniques, engineering, and other architectural aspects. Published 2-D historical reconstruction drawings of façades and floor plans in black and white do not infrequently elide significant aspects of the design that are readily evident in 3-D depictions, such as the need for ground-level support for upper floors, or accessibility from one section to another.« ⁰⁶

■ 06

Diane Favro, *Se non è vero, è ben trovato* (If Not True, It Is Well Conceived): **Digital Immersive Reconstructions of Historical Environments**, in: *Journal of the Society of Architectural Historians*, Vol. 71, No. 3, Special Issue on **Architectural Representations 1** (September 2012), pp. 273–277.

Jenseits der **Glanzseite** der digitalen Modelle offenbart sich die **Schatten-**seite der digitalen 3D-Rekonstruktion. Diese manifestiert sich vornehmlich in den ungelösten Fragen nach der Nachvollziehbarkeit und Dokumentation der auf Interpretation basierenden Prozesse, seiner Versionen und Varianten sowie nach der (Langzeit-)Verfügbarkeit der Ergebnisse. Zu den größten Mankos gehören bis heute die fehlende Verständigung innerhalb der Fachcommunity auf digitale Dokumentationsstandards und nachhaltige Dateiformate im 3D-Bereich sowie die im Allgemeinen zu beobachtenden Missstände hinsichtlich der Rechte- und Lizenzierungsfragen bei einer möglichen Publikation der 3D-Modelle im Open Access. Das Fehlen einer digitalen Infrastruktur für eine nachhaltige Archivierung und adäquate Veröffentlichung erschwert das Publizieren zusätzlich. Im Klartext sprechen wir von mangelnder Wissenschaftlichkeit und von einer Ressourcenverschwendung der öffentlichen Mittel, wenn die 3D-Modelle einschließlich des Wissens, auf dem sie aufbauen, nach Abschluss der Projekte auf

■ 07

Stephan Hoppe, *Die Fußnoten des Modells – CAD-Modelle als interaktive Wissensräume am Beispiel des Altenberger-Dom-Projektes*, in: Marcus Frings (Hg.): *Der Modelle Tugend. CAD und die neuen Räume der Kunstgeschichte*, Weimar, 2001, S. 87–102.

■ 08

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.

■ 09

http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_de.pdf, S. 3.

■ 10

London Charter, S. 9.

■ 11

International Principles of Virtual Archaeology, The Seville Principles 2011, <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>.

■ 12

Mieke Pfarr, *Dokumentationssystem für Digitale Rekonstruktionen am Beispiel der Grabanlage Zhaoling, Provinz Shaanxi, China*. Dissertation an der TU Darmstadt, 2010. http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2302/13/dissertation_text.pdf.

■ 13

Laut dem UNICEF-Bericht Kinder in einer digitalen Welt sind bis heute drei von fünf Heranwachsenden zwischen 15 und 24 Jahren in Afrika offline. In Europa ist das Verhältnis 1 zu 25. Mehr als 56 Prozent aller Webseiten sind

den wachsenden digitalen Friedhöfen zu Grabe getragen werden.

Die Thematisierung neuer virtueller Forschungsräume infolge des Einsatzes von 3D-Modellierungssoftware für die Kunst- und Architekturgeschichte ist seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre dokumentiert. Stephan Hoppes Forderung nach sogenannten »Fußnoten des Modells«⁰⁷ sowie jene Hubertus Günthers nach einer »kritischen Computer-Visualisierung«⁰⁸ sind nur zwei von vielen prominenten Stimmen aus der deutschsprachigen kunsthistorischen Fachcommunity, die sich für die der Wissenschaftlichkeit geschuldete Nachvollziehbarkeit einsetzen. Auf internationaler Ebene entwickelte sich parallel aus einer Reihe von EU-Projekten die **Londoner Charta für die computergestützte Visualisierung von kulturellem Erbe**. Sie definiert Grundsätze für die Nutzung computergestützter Visualisierungsmethoden in Bezug auf intellektuelle Integrität, Seriosität, Dokumentation, Nachhaltigkeit und Zugänglichkeit.⁰⁹

Die **Londoner Charta** von 2006 unterstreicht den interpretativ-kreativen Prozess einer digitalen 3D-Rekonstruktion und der daraus folgenden 3D-Visualisierung und deklariert die **Dokumentation dieser Prozesse (Paradaten)** zu einem zentralen Grundsatz:

»Die Dokumentation der auswertenden, analytischen, deduktiven, interpretativen und kreativen Entscheidungen, die im Verlauf der computergestützten Visualisierung gemacht wurden, soll derart verfügbar sein, dass die Beziehung zwischen Forschungsquellen, implizitem Wissen und expliziten Schlussfolgerungen und visualisierungsbasierten Ergebnissen verstanden werden kann.«¹⁰

Mit **Paradata**, einer weit verbreiteten Wortschöpfung der **Londoner Charta**, wird der Begriff der **Metadaten**, der Information über die digitalen Datensätze selbst, um die Information zu der kreativen Entstehung (gestalterischen Schöpfung) einer computergestützten Visualisierung erweitert. Neben der hier an erster Stelle aufgeführten Charta wären darauf aufbauende Richtlinien¹¹ und die Grundlagenforschung¹² zu digitalen 3D-Rekonstruktionen zu nennen, von denen mittelfristig richtungsweisende Impulse für die Forschung an und in digitalen Modellen zu erwarten sind.

H.3 Neue Datenkultur und die digitale Vernetzung des Wissens

Mit der digitalen Revolution und der damit einhergehenden informationstechnologischen Entwicklung verbinden wir allgemein die Vorstellung einer **Demokratisierung des Wissens**, weil der Zugang zu digital vorliegender Information via Internet nahezu barrierefrei und mittelfristig flächendeckend möglich ist.¹³ Das exponentielle Informationswachstum des digitalen Zeitalters wird

heute auf Englisch. Selbst wenn sie Zugang zum Netz haben, können sie die Inhalte oft nicht verstehen oder finden keine Themen, die mit ihrem Leben zu tun haben. (<https://www.unicef.de/blob/155348/3ba93a-642c1ff027de0b9aa299f9c193/kinder-in-der-digitalen-welt---zusammenfassung-data.pdf>).

■ 14

Rfll – Rat für Informationsinfrastrukturen, Leistung aus Vielfalt. Empfehlungen zu Strukturen, Prozessen und Finanzierung des Forschungsdatenmanagements in Deutschland, Göttingen 2016, S. 56.

durch die fortschreitende Partizipation der Weltbevölkerung an der Erstellung und Bereitstellung von Inhalten im World Wide Web, auch Web 2.0 genannt, begünstigt. Es stellt sich dabei nicht mehr die Frage, ob es Sinn macht, alles zu digitalisieren. Vielmehr stellt sich die Frage, wann unsere eigene Persönlichkeit, unsere analoge Umgebung und das zugrunde liegende Wissen der letzten Jahrtausende vollständig digitalisiert sein wird. Wobei die hier gewählte Reihenfolge wahrscheinlich der zeitlichen Abfolge der Digitalisierung entsprechen dürfte. Hinzu kommt die Frage: In welcher Form müssen die Daten vorliegen, damit aus der Informationsflut ein Vorteil im Sinne der eingangs postulierten Demokratisierung des Wissens entstehen kann? Von zentraler Bedeutung sind hierbei die digitalen Forschungsdaten als ein Hauptrohstoff der Informationsgesellschaft. Ihnen werden wir uns im Folgenden widmen, um den informationstechnologischen Kontext und die Anforderungen für den wissenschaftlichen Einsatz digitaler Rekonstruktion darzustellen. Mit der Digitalität von Forschungsdaten stellen sich vielfältige, in ihrer Art neue Herausforderungen an deren Qualitätssicherung. Die Notwendigkeit einer menschen- und computergerechten Dokumentation von auf Offenheit und Integrität ausgerichtetem Wissen ruft dabei eine **neue Datenkultur** auf den Plan. ¹⁴

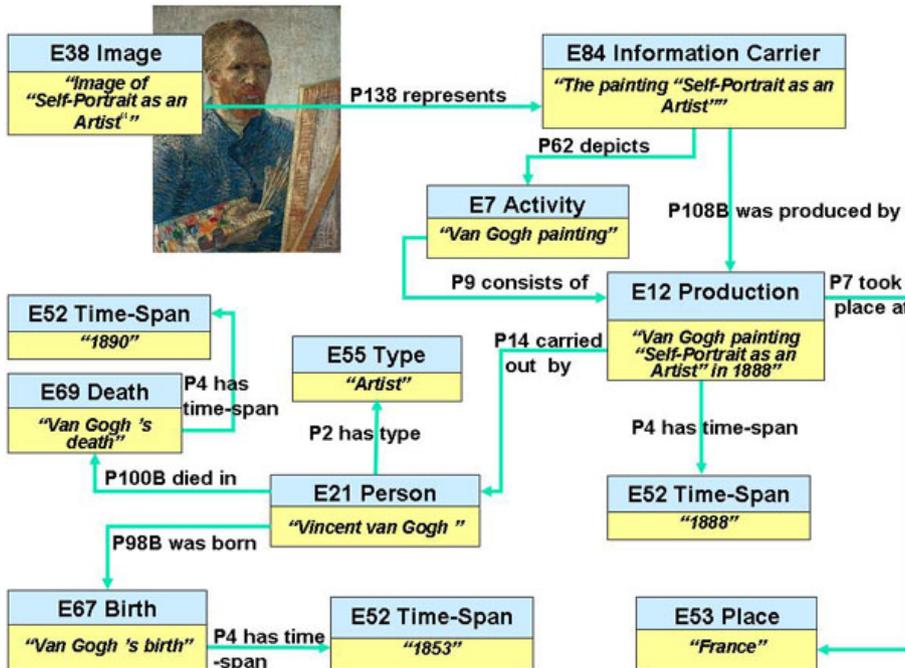
Ein wesentlicher Baustein für die Lesbarkeit und Verwertbarkeit von digitalisierter Information im wissenschaftlichen Kontext liegt in der Formalisierung des Wissens. Die Formalisierung verfolgt das Ziel, die sprachlich gefasste Übersetzung und die formal geordnete Darstellung von Wissen in einer menschen- und maschinenlesbaren Form darzustellen. Auf die Fachdisziplinen heruntergebrochen wird dabei definiert, welche die zu erforschenden Begrifflichkeiten (Klassen bzw. Entitäten) und relevanten Beziehungen (Relationen) sind. Mithilfe einer **Datenmodellierung** werden in der Sprache der Informatik sogenannte **Ontologien** aufgestellt, die ein Forschungsfeld abbilden. Dabei unterscheidet man zwischen den **Applikationsontologien** (auch **Domainontologien** genannt), die einen speziellen Teilbereich eines Faches abdecken, z. B. spezielle Sachverhalte rund um Fragestellungen zu Porträts der Renaissance, und den darüber liegenden **Referenzontologien**, die einen Austausch der Daten in einem größeren Sachzusammenhang erlauben, z. B. allgemeine Sachverhalte der Kunstgeschichte.

Im Bereich des kulturellen Erbes hat sich die zwischen 1996 und 2006 entwickelte Referenzontologie CIDOC Conceptual Reference Model (CRM) als **Lingua franca** durchgesetzt. Als internationales anerkannter ISO-Standard ISO 21127:2014 beschreibt es mit rund 90 Entitäten und 150 Relationen, ausgehend von Ereignissen wie bspw. der Bilderstellung oder Bildzerstörung, alle wesentlichen Themenfelder im Alltagsgeschäft der kulturellen Einrichtungen, vorrangig jedoch im musealen Betrieb. ⁰²

Die Bedeutung einer adäquaten Informationsaufbereitung für die digitale Dokumentation, für die computergestützte Forschung und die Austauschbarkeit von Daten wurde von Lutz Heusinger, dem Direktor des Deutschen Dokumentationszentrums für Kunstgeschichte – Bildarchiv Foto Marburg, bereits 1983 in seinen acht Thesen zur Kunstgeschichte und EDV proklamiert:

»Da die elektronische Datenverarbeitung mechanisch vorgeht, zwingt sie uns, ihr unsere Forschungsergebnisse in konsequent formalisierter Gestalt zuzuführen. Dies setzt ein Regelwerk voraus, das wesentlich umfangreicher sein wird, als es die berühmten ›Preußischen Instruktionen‹ für die Katalogisierung von Büchern waren oder die ›Anglo-American Rules of Cataloguing‹ sind.« ¹⁵

■ 15
 Lutz Heusinger, *Kunstgeschichte und EDV: 8 Thesen, Tagungsband zum 25. Internationalen Kunsthistoriker-Kongress, Wien 1983, S. 69.*



□ 02
 Abbildung der Entitäten und Relationen mit CIDOC CRM am Beispiel des Selbstbildnisses von Vincent van Gogh (Copyright Martin Doerr).

In seinem Beitrag erkennt Heusinger auch das Dilemma der Regelwerke, wenn er von einer neuen Festlegung der Grenzen des Faches spricht:

»Gewiß wäre es ideal, wenn wir alle vorhandenen Informationen sammeln und damit den Weg zum Kunstwerk unter allen möglichen Gesichtspunkten eröffnen könnten. Dies aber ist personell ebenso unmöglich wie finanziell. So werden wir wählen und letztlich die Grenzen unseres Faches neu festlegen müssen – [...].« ¹⁶

■ 16
 Heusinger 1983, S. 69.

Bei der Formalisierung und der damit einhergehenden Festlegung der Kernfelder einer archivarischen Dokumentation (Zettelkasten-Prinzip) stellt sich die Frage, wer das Recht hat, diese Art einer weitreichenden Entscheidung im Vorfeld zu treffen. ¹⁷ Können die im Wortlaut von Heusinger zitierten und neu auszubildenden kunsthistorischen Dokumentare qualifiziert genug sein, um die Grenzen eines Faches maßgeblich und zukunftsfähig zu definieren? Wohl kaum.

■ 17
 Hinsichtlich der Kerncharakteristika vergleiche den Beitrag von Kailus/Stein (→ 119) in diesem Band.

Nichtsdestoweniger spielt die von Fachspezialisten betriebene Formalisierung eine wichtige Rolle für die Erschließung und Bereitstellung von Informationen im Medium des Internets. Diese Aufbereitung des Wissens zielt darauf ab, strukturierte mensch- und maschinenlesbare Datensätze zu veröffentlichen.

■ 18

<http://www.europeana.eu/portal/de>.

Als prominentes Beispiel kann hier die **Europeana**, die Europäische Digitale Bibliothek, genannt werden. ¹⁸ Gespeist wird diese mit den strukturierten Datensätzen aus Bibliotheken, Archiven und Museen aller EU-Mitgliedstaaten, wobei Europeana jeweils als Bindeglied gesehen werden muss, welches auf die jeweiligen Institutionen und die gelieferten Inhalte (ihre ursprüngliche Online-Präsenz) verweist.

■ 19

<http://network.icom.museum/cidoc/working-groups/lido/what-is-lido/>.

Der Export der Datensätze erfolgt im Falle der Europeana über die Strukturierung im Datenformat **Lightweight Information Describing Objects (LIDO)**, einem XML-Austauschformat, welches die Metadaten über Sammlungsobjekte an Portale weitergibt. ¹⁹ Die Weiterentwicklung von LIDO verfolgte das Ziel, die ereignisorientierte Modellierung auszubauen und eindeutige Identifikatoren einzubinden. In der Konsequenz werden Objekte, analog dem CIDOC-CRM-Prinzip, verstärkt von den Ereignissen aus beschrieben. Als Identifikationen werden bei der digitalen Dokumentation und in den digitalen Forschungsdaten vor allem eindeutige Zuschreibungen einer Person, eines Objekts und eines Ortes verstanden. Als sogenannte **Normdaten** stellen sie eine Disambiguierung der Information sicher, die für eine zielführende Suche und eindeutige Suchergebnisse von Vorteil sind. Prominenter Vertreter aus dem deutschsprachigen Raum ist die **Gemeinsame Normdatei (GND)**. Um den wachsenden Anforderungen gerecht zu werden, findet die Eingabe und Pflege verstärkt in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Kultureinrichtungen statt. Auf internationaler Ebene fungiert stellvertretend für Personendaten die **Virtual International Authority File (VIAF)**.

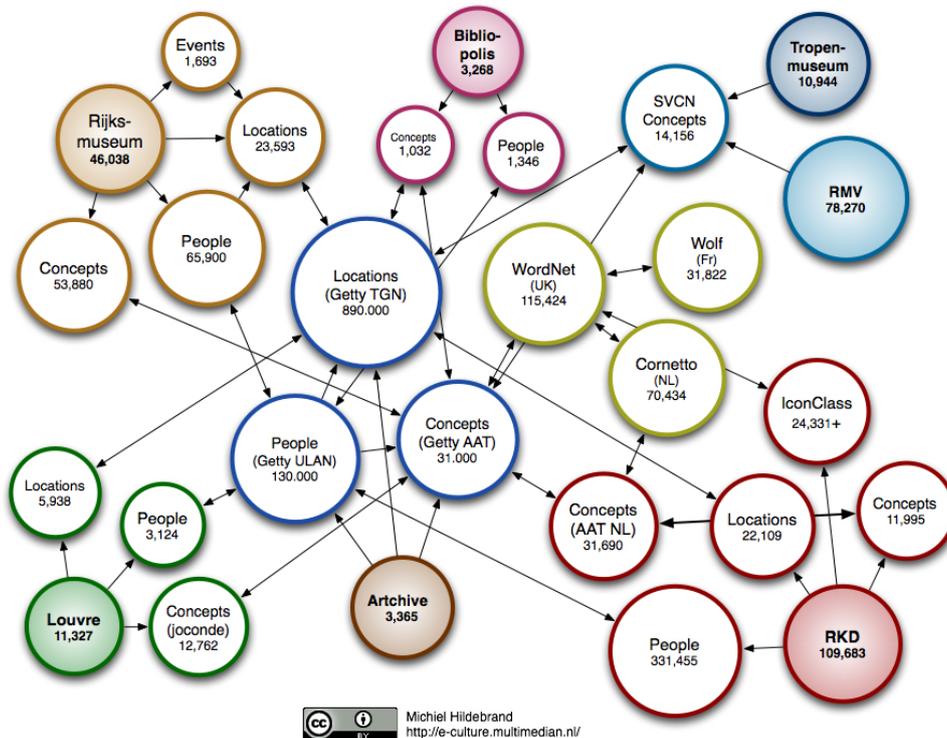
Komplementär entwickelt sich die freie Enzyklopädie **Wikipedia** (siehe hierzu: **DBpedia**) und die unterstützende, frei bearbeitbare Datenbank von **Wikidata** zu einer wichtigen Referenzdatei im Sinne einer **Normdatei**. Ihre auf **Citizen Science** und **Crowdsourcing** basierenden Datensätze werden immer häufiger aufgrund ihrer Aktualität, Mehrsprachigkeit und ihres faszinierenden Informationsumfangs (2.215.123 deutsche Artikel, Stand 1. September 2018) zur Identifikation herangezogen.

■ 20

<https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/>.

Ergänzt werden die Normdateien von **kontrollierten Vokabularen (Thesauri)**, die einer hierarchischen Struktur folgend Begrifflichkeiten semantisch erschließen. An erster Stelle sind hier die **The Getty Vocabularies** zu nennen, welche seit den 1980er Jahren für das elektronische Informationssystem von John Paul Getty Trust für die Gegenstandsfelder der Kunstwissenschaft erstellt werden. ²⁰ The Getty Research Institute bietet heute vier auf sich verweisende Vokabulare: **The Art & Architecture Thesaurus (AAT)**, **The Cultural Objects Name Authority (CONA)**, **The Union List of Artist Names (ULAN)** und **The Getty Thesaurus of Geographic Names (TGN)**. Die Bedeutung von The Getty Vocabularies kommt in der laufenden Übersetzung der Vokabulare in mehrere Sprachen und der verstärkten Nutzung der Vokabulare durch eine Vielzahl renommierter Kultureinrichtungen (Louvre, Rijksmuseum, etc.) zur eindeutigen Auszeichnung eigener objektbezogener Datensätze zum Ausdruck. ⁰³

Eine digitale Technologie, welche zunehmend für die weltweite Vernetzung semantisch angereicherter Daten genutzt wird, beruht auf Tim Berners-Lees Idee eines **Semantic Webs**. In seinem Beitrag in **Scientific American** von 2001 postuliert er die nötige Weiterentwicklung des Internets, um die Lesbarkeit und Auswertbarkeit digitaler Daten zu gewährleisten:



□ 03
 Vernetzung der hauseigenen Identifikatoren innerhalb der Museumslandschaft mit anderen Linked-Data-Ressourcen (Copyright Michiel Hildebrand).

Michiel Hildebrand
<http://e-culture.multimedial.nl/>

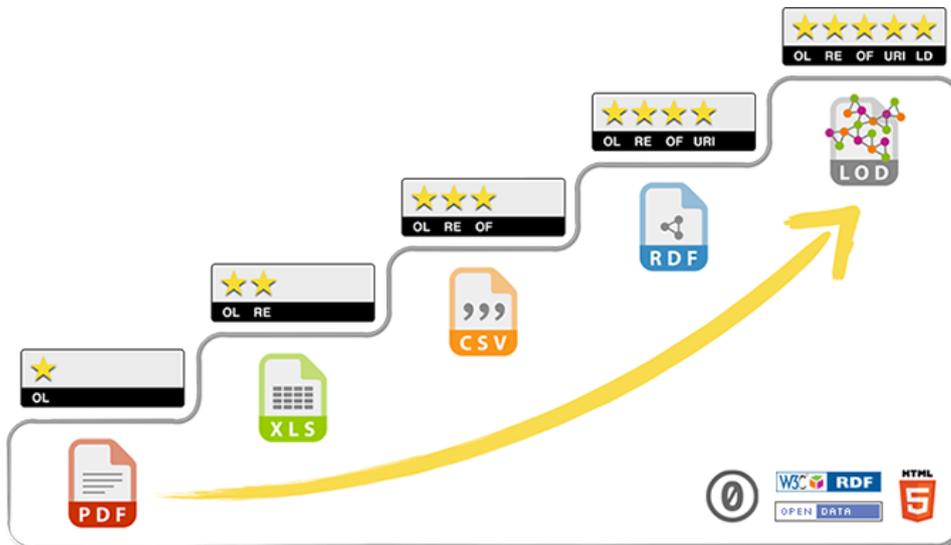
»The Semantic Web is not a separate Web but an extension of the current one, in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation. The first steps in weaving the Semantic Web into the structure of the existing Web are already under way. In the near future, these developments will usher in significant new functionality as machines become much better able to process and understand the data that they merely display at present.« 21

■ 21
 Tim Berners-Lee, James Hendler, Ora Lassila, *The Semantic Web*, Scientific American, May 2001, p. 29–37.
 (<https://www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web/>).

Die Grundbausteine für diese Entwicklung basieren auf den bereits bekannten Technologien einer **eXtensible Markup Language (XML)**, zur Erstellung eigener Tags und zur Annotation der Webinhalte, und einem **Resource Description Framework (RDF)** zur Abbildung der Bedeutung innerhalb einer semantischer Syntax (Triples). Ein RDF-Triple folgt der gewöhnlichen Satzstruktur **Subjekt – Prädikat – Objekt** und kann mithilfe von XML-Tags geschrieben werden. Das RDF verleiht den Dokumenten die Fähigkeit, Annahmen in Form der Entitäten (z. B. ein Kapitel) und ihren Relationen (z. B. ist Teil von) mit bestimmten Werten (z. B. einer architektonischen Säule) auszudrücken.

In dem Konzept von **Semantic Web**, auch **Web 3.0** genannt, wird jedes Subjekt und Objekt mithilfe eines persistenten **Universal Resource Identifiers (URI)** analog einer Internet-Adresse (**URL, Uniform Resource Locator**) identifiziert. Jedes Prädikat erhält ebenfalls eine URI, die uns eine Definition eines Konzeptes (eines neuen Verbs) erlaubt. In dem Moment, wo zwischen Objekten und Subjekten eines Datensatzes vom Repository A webbasierte Verknüpfungen zu weiteren ähnlich strukturierten Datensätzen von den

Repositorien B, C, D, etc. gesetzt werden, sprechen wir von **Linked (Open) Data**. Die Anwendung der Ontologien für die Auszeichnung der semantischen Elemente der Triples, begleitet von der Einbindung der Normdateien und der kontrollierten Vokabulare, erlaubt uns eine tiefere, menschen- und maschinenlesbare Erschließung der digitalen Information. ^[04]



□ 04
Das 5-Sterne-Modell für offene Daten von Tim Berners-Lee (<http://5stardata.info/en/>).

H.4 Digitales Kulturerbe und digitale Kontinuität von 3D-Modellen

Ein aus der computergestützten wissenschaftlich begründeten 3D-Rekonstruktion hervorgegangenes Modell ist das Ergebnis vorausgegangener Quellenerfassung, Interpretation und schöpferisch-kreativer Nachbildung eines nicht (mehr) vorhandenen Objekts. Das originär digital erzeugte Modell stellt eine einzigartige Quelle für die Forschung dar und muss als ein **born-digital**-Äquivalent des nachzubildenden Kulturerbes, z. B. in Form der digitalen 3D-Modelle zur Bau- und Entwurfsgeschichte des Petersdoms in Rom, ^[22] betrachtet werden. ^[05]

Die herausragende Bedeutung, aber auch der drohende Verlust der hier vorgestellten digitalen Quellen infolge fehlender Erhaltungs- und Zugangsstrategien wurde bereits 2003 in der **UNESCO-Charta zur Bewahrung des digitalen Kulturerbes** erkannt. Sie prägte den Begriff der **Digitalen Kontinuität** und drängte zur Entwicklung nötiger digitaler (Forschungs-)Umgebungen und Infrastrukturen:

»Kontinuität des digitalen Erbes ist von grundlegender Bedeutung. Um das digitale Erbe zu erhalten, sind Maßnahmen im gesamten Lebenszyklus der digitalen Information zu ergreifen, von der Erstellung bis zum Zugang.

■ 22
http://www.dg.architektur.tu-darmstadt.de/dg/forschung_dg/digitale_rekonstruktionen/projekte.de.jsp.

Die Langzeiterhaltung des digitalen Erbes beginnt mit der Entwicklung verlässlicher Systeme und Verfahren, die authentische und stabile digitale Objekte hervorbringen.« ²³

■ 23

UNESCO-Charta zur Bewahrung des digitalen Kulturerbes, Artikel 5 Digitale Kontinuität, Paris 2003. Siehe: <https://www.unesco.de/infothek/dokumente/unesco-erklarungen/charta-zur-bewahrung-des-digitalen-kulturerbes.html>.

In Bezug auf die Kunstgeschichte hat die Massendigitalisierung von Objekten aus Museumssammlungen sowie die Digitalisierung vieler Baudenkmäler seitens nationaler Denkmalbehörden trotz steigender 3D-Datensätze nicht zur Etablierung eines digitalen Dokumentationsstandards geführt. Beobachtet werden können eher Insellösungen, die eine Dokumentation der Digitalisierung meist im Metadaten-Schema abbilden. Einige dieser Lösungen seien im Folgenden kurz vorgestellt.



□ 05
Darstellung der unterschiedlichen Bau- und Entwurfsphasen des Petersdoms in Rom, proprietäre Dateiformate von Maya v. 6.5 (Copyright TU Darmstadt, 2005).

■ 24

<http://3dicons-project.eu/eng/About>.

Auf europäischer Ebene sollte das Projekt **3D-Icons** und der Versuch erwähnt werden, ein Metadatenschema zu entwickeln, welches die Publikation von 3D-Modellen in der Europeana ermöglicht. ²⁴ Das **CARARE 2.0** Schema besteht aus vier Top-Level-Classes, die eine Beschreibung des digitalen Objekts erlauben:

- **Heritage asset** – holds the metadata for a monument, building or cultural object including printed materials and born-digital objects, including descriptive and administrative metadata.
- **Digital resource** – holds the metadata about a digital resource including its online location.
- **Activity** – holds the metadata about an event or activity.
- **Collection information** – holds the collection-level description.

»Heritage assets are **first-class** citizens in the CARARE schema and it is mandatory for each CARARE record to include one heritage asset and at least one digital resource –

■ 25

Kate Fernie, Dimitris Gavrilis, Stavros Angelis, The CARARE metadata schema, v.2.0. (siehe: <http://3dicons-project.eu/eng/Resources/Documentation/CARARE-2.0-schema/CARARE-metadata-schema-Version-2.0>).

■ 26

Oliver Hauck, Andreas Noback, Cultural Heritage Markup Language, CeBIT Hannover 2003. (Siehe: <http://chml.foundation/wp-content/uploads/2015/05/chml-en.pdf>).

■ 27

Piotr Kuroczyński, Oliver Hauck, Daniel Dworak, 3D models on triple paths – New pathways for documenting and visualising virtual reconstructions, in: Sander Münster, Mieke Pfarr-Harfst, Piotr Kuroczyński, Marinos Ioannides (Hg.), 3D Research Challenges in Cultural Heritage II – How to manage data and knowledge related to interpretative digital 3D reconstructions of Cultural Heritage, Springer Heidelberg 2016, S. 149–172. (SpringerLink: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47647-6_8).

■ 28

Die CHML-Ontologie Version 1.1. resultiert aus den ersten Erfahrungen mit der Version 1.0, die innerhalb der VFU von [patrimonium.net](http://www.patrimonium.net) implementiert wurde. Sie stelle eine Vereinfachung und Präzisierung der Vorgängerversion dar. <https://github.com/chml-3d/chml-ontology>.

in this way the schema provides for the description of cultural objects including historical images whose exact location is no longer certain and born-digital cultural objects.« ²⁵

Ein anderes Konzept zur Beschreibung digitaler Objekte, das deutlich stärker die Erfassung der Activity (Prozesse) einfordert, liegt der **Cultural Heritage Markup Language (CHML)** zugrunde. CHML wurde 2003 von Oliver Hauck und Andreas Noback auf der CeBIT vom Fachbereich Architektur der TU Darmstadt als eine XML-basierte Auszeichnungssprache zur wissenschaftlichen Dokumentation des gebauten Kulturerbes und computergestützter 3D-Rekonstruktionen vorgestellt:

»Concerning our built heritage we use CAD to create nice pictures ... What about research? What about science? Working scientifically means to link 3d models with historical sources and scientific findings to make them comprehensive and revisable. XML is the most powerful tool to create these links and to enhance communication between the shareholders of our built cultural heritage.« ²⁶

Die darauf aufbauende Entwicklung eines nachhaltigen Datenmodells zur menschen- und maschinenlesbaren Erfassung digitaler Modelle von zerstörtem Kulturerbe fand innerhalb eines Forschungsprojekts zu digitalen 3D-Rekonstruktionen ostpreußischer Barockschlösser am Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung in Marburg zwischen 2013 bis 2016 statt. ²⁷ Das Projekt widmete sich erstmals vielfältigen Fragestellungen hinsichtlich der **Digitalen Kontinuität**, darunter der Formalisierung des Wissens innerhalb einer Applikationsontologie, einer adäquaten **Virtuellen Forschungsumgebung (VFU)**, erforderlichen digitalen Werkzeugen sowie einer webbasierten 3D-Visualisierung. Die zerstörten ostpreußischen Barockschlösser lieferten ein Paradebeispiel für die sprach-, grenzen- und fächerübergreifende Zusammenarbeit bei der digitalen 3D-Rekonstruktion.

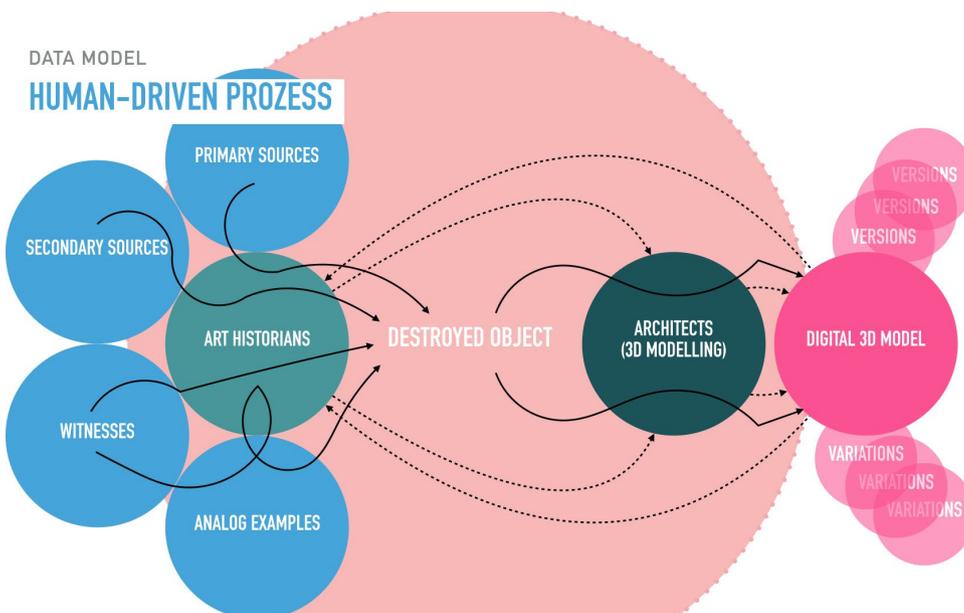
H.5 Das Datenmodell – Das Gedächtnis vom wissenschaftlichen 3D-Informationsmodell

Im Folgenden werden die Grundlagen eines auf der CHML-Ontologie (Version 1.1) basierenden Datenmodells erklärt. ²⁸ Das Datenmodell bildet die Basis für die digitalen Forschungsdaten, die innerhalb einer VFU produziert werden. Eine detaillierte Darstellung des Projekts kann der Projektseite am Herder-Institut und dem Beitrag von **Jan Lutteroth und Stephan Hoppe** (→ 185) zur Nutzung der projektinternen VFU (www.patrimonium.net) bei der Rekonstruktion von Schloss Friedrichstein entnommen werden. ²⁹

■ 29
Projektseite am Herder-Institut, <http://www.herder-institut.de/go/Q-338d9c2>
und Beitrag von Lutteroth/Hoppe
(→ 185).

■ 30
DFG-Vordruck 12.151 – 12/16 –
DFG-Praxisregeln Digitalisierung,
3.2.2.5 Dreidimensionale Objekte,
http://www.dfg.de/formulare/12_151/12_151_de.pdf.

Den Kern einer quellenbasierten digitalen 3D-Rekonstruktion und ihrer Modelle bilden die vielfältigen von Menschen betriebenen Forschungsaktivitäten, im Folgenden kurz **Aktivitäten** genannt, um welche die Autoren, heterogene Quellen sowie Varianten und Versionen der digitalen Modelle gruppiert werden. Das von Kunsthistorikern gesammelte und interpretierte Wissen wird für die 3D-Modellierung am Rechner herangezogen. Die Interpretation des Wissens und die 3D-Modellierung führt zu den born-digital 3D-Modellen. Die Ergebnisse des schöpferisch-kreativen Aktes am Rechner werden den Kunsthistorikern zur Diskussion bereitgestellt. Dieser Prozess zirkuliert und führt eventuell zu mehreren Versionen, ggfs. Varianten eines Modells. Hierin unterscheidet sich im Wesentlichen die vom Menschen gesteuerte **digitale 3D-Rekonstruktion** von der maschinengetriebenen **3D-Retrodigitalisierung** existierender Artefakte (z. B. 3D-Daten aus einem Laser-Scan). 30 06



□ 06
Zirkulierende Arbeitsabläufe einer
digitalen 3D-Rekonstruktion (Copyright
Piotr Kuroczyński, 2016).

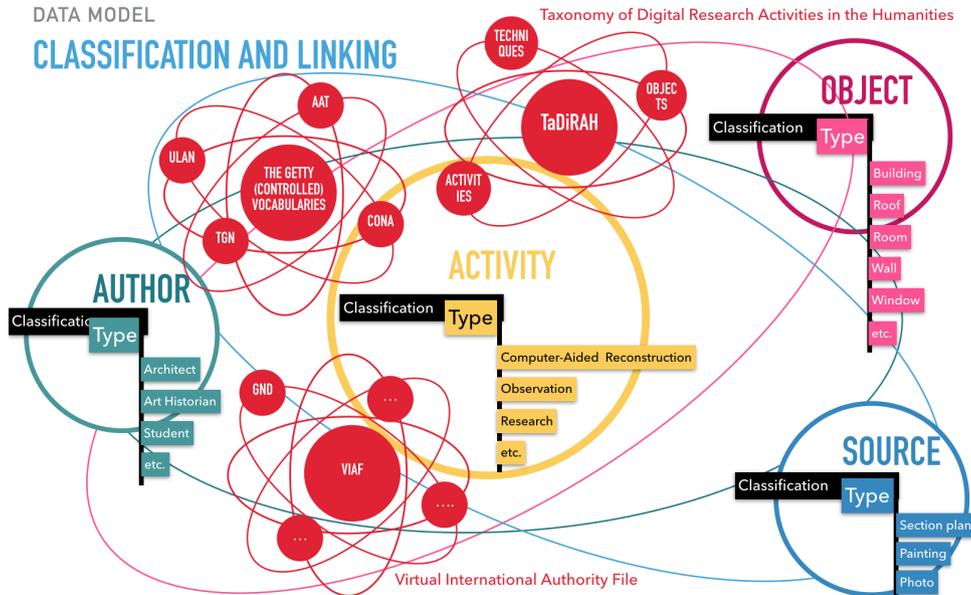
Die Top-Level-Classes des Datenmodells stellen folglich die **Aktivitäten**, die **Quellen**, die **Objekte** und in gewissem Maße die **Autoren** dar. Die Zeit- und Ortsangaben haften vorrangig an den Aktivitäten. Das Datenmodell bzw. die Applikationsontologie ist CIDOC-CRM-referenziert und integriert die einschlägigen Normdaten (**GND**, **Wikipedia**) und kontrollierten Vokabulare (**The Getty vocabularies**) sowie die IDs von **Openstreetmap.org** zur eindeutigen Auszeichnung der Elemente im Sinne von **Semantic Web**.

Für die erforderliche Klassifizierung aller Einträge wird ein System vorgeschlagen, das eindeutig die Bedeutung des Eintrags durch eine Typ-Zuweisung, **TYPE** genannt, festlegt. Die Eindeutigkeit des **TYPEs** wird zum einen durch die Integration (Verknüpfung) mit einschlägigen Normdaten und kontrollierten Vokabularen, zum anderen durch eigene Annotation mit belegender Verknüpfung zu Webartikeln und zur Literatur gewährleistet. 07

Die Erfahrung zeigt, dass die zurzeit vorhandenen kontrollierten Vokabulare, z. B. **The Getty Art & Architecture Thesaurus (Getty AAT)**, für eine umfassende wissenschaftliche Auseinandersetzung mit bau- und kunsthistorischen Sachverhalten nicht ausgereift genug sind und wahrscheinlich auch bleiben

DATA MODEL

CLASSIFICATION AND LINKING



□ 07

Die Klassifikation der Einträge mittels des TYPE-Systems und die Vernetzung mit anderen Linked-Data-Ressourcen (Copyright Piotr Kuroczyński, 2016).

■ 31

F. Thiery, T. Engel, **The Labelling System: A Bottom-up Approach for Enriched Vocabularies in the Humanities**, 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2015. (Siehe: <https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/labelingsystem>).

werden. Aus diesem Grund ist die eigene Bildung von **TYPES** und der Aufbau eines projektinternen Thesaurus von großem Nutzen und wird auch von anderen Digital-Humanities-Projekten bspw. in Form sogenannter **Labelling Systems** betrieben. ³¹ Da auf diesem Wege prominente Normdaten und kontrollierte Vokabulare im Linked-Open-Data-Format generiert werden, stellt diese Art der Klassifizierung einen wichtigen Baustein für nachhaltige, eindeutige und semantisch angereicherte digitale Forschungsdaten dar.

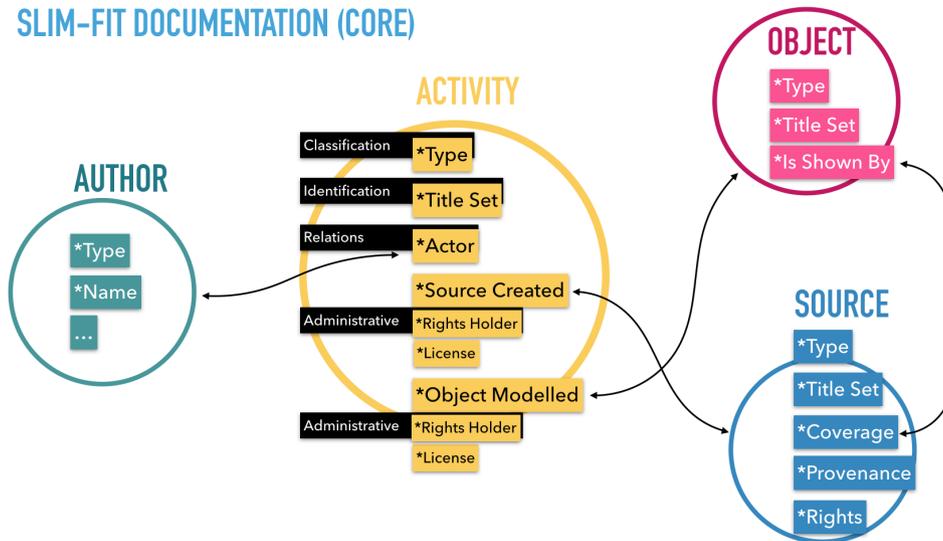
Die Mächtigkeit des Datenmodells liegt in der Option, Datenfelder fragestellungsspezifisch und damit bedarfsorientiert zu erweitern. Für die Abbildung der Grundzüge einer digitalen 3D-Rekonstruktion im Sinne einer wissenschaftlich-gründeten Methodologie wird von der **Aktivität** ausgegangen, bei der die Prozesse der Wissensgenerierung und Modellierung beschrieben werden.

Die Grundstruktur der Datenfelder bei der Erfassung der Forschungstätigkeit (**Aktivität**) setzt sich aus einem Klassifikationsfeld (**TYPE**), einer mehrsprachigen und/oder erweiterbaren Identifikation (**Title Set**), einer erweiterbaren Abbildung der Beziehungen und den administrativen Daten zusammen. Im Folgenden werden die Top-Level-Classes des Datenmodells und ihre Pflichtfelder (**Kernfelder**) näher vorgestellt. ⁰⁸

Die Top-Level-Class **Activity (H1 Research Activity)** ist eine Subclass der **CIDOC CRM E7 Activity**. Sie steht vorrangig für die Aktivität der Erstellung einer Quelle für die 3D-Rekonstruktion oder die Erstellung eines Modells im Rahmen der 3D-Rekonstruktion. Ihre Kernfelder setzen sich aus der Klassifikation (**Type: Computer-Aided Reconstruction**), der identifizierenden Namensgebung (**Title Set: 3D reconstruction of XYZ**), der Beziehung zu beteiligten Personen (**Author**), der Beziehung zu den verwendeten Quellen (**Source Used: XYZ**) und zum erstellten Objekt (**Object Modelled: XYZ**) zusammen.

Im Fall der Erstellung einer Quelle würde sich die Klassifikation des Eintrags ändern (**Type: Source Creation**). Anstelle der Eingabe unter **Object Modelled** wäre eine Beziehung ausgehend vom Kernfeld **Source Created** zur erstellten Quelle zu setzen. In beiden Fällen ist es zwingend notwendig,

SLIM-FIT DOCUMENTATION (CORE)



□ 08

Top-Level-Classes und Pflichtfelder im Sinne einer Minimalanforderung an die Dokumentation (Copyright Piotr Kuroczyński, 2016).

■ 32

<https://creativecommons.org/licenses/?lang=de>

die Rechtefragen zu klären und an den erstellten digitalen Quellen und digitalen Modellen Rechteinhaber und Lizenz (vorzugsweise: **Creative Commons Urheberrechtlizenzen**) ³² zu nennen.

Einen Sonderfall stellen die historischen Ereignisse dar. Sie spielen im Kontext der digitalen 3D-Rekonstruktion, der Dokumentation des Rekonstruktionsprozesse, der Quellen und der Diskussion eine sekundäre Rolle. Die Erweiterung des Datenmodells auf oberster Ebene erfolgt durch Hinzunahme einer weiteren Top-Level-Class, der Class **Historisches Ereignis (H20 Historic Event)**, einer Subclass von **CIDOC CRM E5 Event**. Sie ist beispielsweise dann von Bedeutung, wenn das Ereignis **Planung und/oder Umsetzung eines Gebäudes und/oder eines Kunstwerks** im Datenmodell abgebildet werden soll. In Abgrenzung zur (Forschungs-)Aktivität werden im Ereignis die partizipierenden Personen als historische **Akteure** ausgezeichnet, wohingegen die Urheber von Quellen bzw. Modellen als **Autoren** deklariert sind.

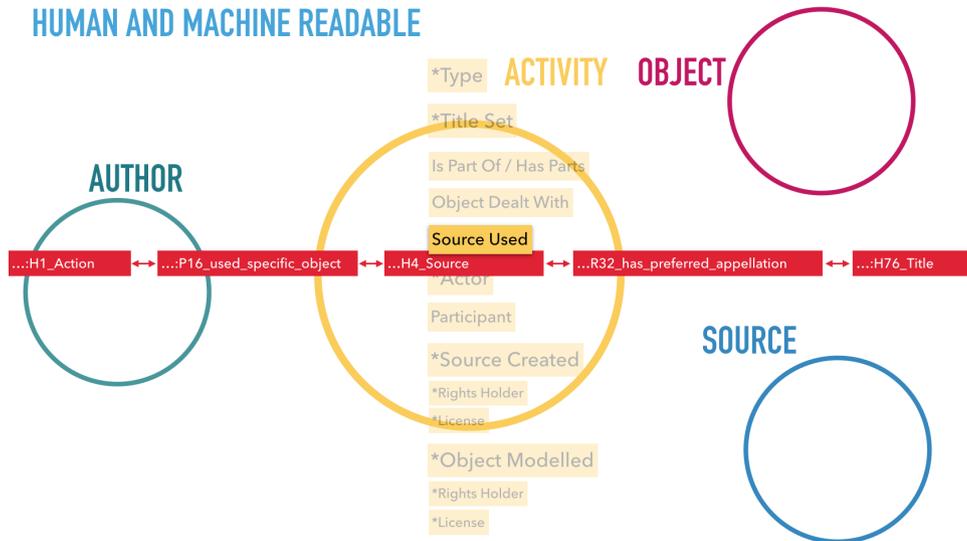
Die Top-Level-Class **Objekt (H5 Material Object)** ist eine Subclass von **CIDOC CRM E71 Man-Made Thing**. Dabei wird jedes modellierte Objekt als materielles Objekt behandelt, auch wenn es sicher ist, dass es nicht existiert hat (oder nicht zweifelsfrei feststeht, ob es existiert hat). Die (Pflicht-)Kernfelder setzen sich aus der Klassifikation (**Type**), Identifizierung (**Title Set**) und dem Bezug zu einer Quelle (**Is Shown By**) zusammen.

Die Top-Level-Class **Quelle (H4 Source)** ist eine Subclass von **CIDOC CRM E28 Conceptual Object**. Die Quelle wird im Rahmen der digitalen 3D-Rekonstruktion explizit nicht als ein Objekt im kunsthistorischen Kontext behandelt. Es handelt sich aus der Sicht der digitalen 3D-Rekonstruktion um eine konzeptuelle Darstellung (Manifestation) des zu rekonstruierenden Objektes.

Die Datenmodellierung im Semantic Web erfordert die Strukturierung der Daten in einer RDF-Triple-Architektur (Subjekt-Prädikat-Objekt). Im Ergebnis verstecken sich hinter den vorgestellten Datenfeldern Ketten aus sogenannten Triple-Pfaden. Das Kernfeld **Sourced Used** setzt sich aus der Kette **H1_Action** → **P16_used_specific_object** → **H4_Source** → **R32_has_preferred_appellation** → **H76_Title** zusammen. Die Bedeutung (**Semantik**) hinter den Feldern ist menschen- und maschinenlesbar. ⁰⁹

DATA MODEL

HUMAN AND MACHINE READABLE



□ 09

Der Triple-Pfad hinter dem Kernfeld Sourced Used (Copyright Piotr Kuroczyński, 2016).

■ 33

Über SPARQL (eine graphenbasierte Abfragesprache für RDF) kann die RDF-Triple-Store abgefragt werden, um bspw. die Anzahl der Quellen zu bestimmten Objekten in ihrer zeitlichen Dimension abzubilden. Vergleiche hierzu den Beitrag von Lutteroth/Hoppe (→ 185) in diesem Band.

Die Datenmodellierung, deren Anpassung und Erweiterung idealerweise mit der Unterstützung von Informatikern (Sondergebiet: Künstliche Intelligenz) erfolgt, bildet die Basis für solide digitale Forschungsdaten. Der Mehrwert einer strukturierten, semantisch angereicherten und beispielsweise CIDOC-CRM-referenzierten Datenbank liegt in der Interoperabilität, Nachhaltigkeit und fachspezifischen Auswertbarkeit und Visualisierung der Forschungsergebnisse. ³³ Mit der Aufhebung der Datensilos infolge des Linked-(Open-)Data Ansatzes werden zudem die Forschungsdaten in den breiten Kontext weiterer Linked-Data-Repositories gestellt.

H.6 Virtuelle Forschungsumgebung für objektbasierte Forschung

Die Anforderungen an eine Virtuelle Forschungsumgebung (VFU) lassen sich aus dem Blickwinkel der digitalen 3D-Rekonstruktion klar formulieren: Die VFU ist eine webbasierte Anwendung, welche die Zusammenarbeit von Fachspezialisten aus den historischen Fächern (Archäologie, Kunst- und Architekturgeschichte) und den vorrangig raumbezogenen Fächern (Vermessungswesen, Bau- und Architekturwesen) ermöglichen soll. Grundvoraussetzung ist, dass Open-Source-Anwendungen genutzt und die Anforderungen der Linked-Data-Technologien berücksichtigt werden, sodass die digitalen Forschungsergebnisse webbasiert vernetzt und bereitgestellt werden können (Open Science). Außerdem müssen die 3D-Datensätze innerhalb der VFU als Teil der Forschungsdaten integriert und visualisiert sein.

In diesem Kontext hat das Projekt der digitalen Rekonstruktion zerstörter Barockschlösser im ehemaligen Ostpreußen – dem im deutschsprachigen Raum weitere Projekte folgen werden – Pioniercharakter. ³⁴ Neben der CIDOC-CRM-referenzierten Datenmodellierung wurde während der Projektlaufzeit eine VFU mit digitalen Werkzeugen und webbasierten Visualisierungsstrategien

■ 34

HTW Dresden, DokuVis – Ein Dokumentationssystem für Digitale Rekonstruktionen, (siehe: <http://www.drematrix.de/projects/dokuvis-a-documentation-system-for-digital-reconst/>) und FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur, Topographie in Raum und Zeit (TOPORAZ), (siehe: <https://www.fiz-karlsruhe.de/de/forschung/e-research/projekte/toporaz-topographie-in-raum-und-zeit.html>).

entwickelt. Sie gibt der Kunstgeschichte erstmals einen Vorgeschmack auf neue Forschungsräume. ^[10]

Bei der VFU handelt es sich um eine Erweiterung und Anpassung der **Wissenschaftlichen Kommunikationsinfrastruktur (WissKI)** ^[35] – einer im Rahmen eines gleichnamigen DFG-Projekts geförderten Softwareplattform, die eine flexible Forschungsumgebung auf der Basis des Open-Source-Content-Management-System von Drupal darstellt. ^[36] Von hoher Relevanz ist, dass es in WissKI möglich ist, Ontologien hochzuladen. Darauf aufbauend bietet die Umgebung von WissKI die Möglichkeit, mithilfe von Eingabemasken ohne große Schwierigkeiten Seiten und Datenfelder zu erstellen. Dabei wird mithilfe eines **Path-Builders** für jedes Datenfeld der Triple-Pfad auf Basis der hochgeladenen Ontologie konstruiert (vgl. ^[09]).

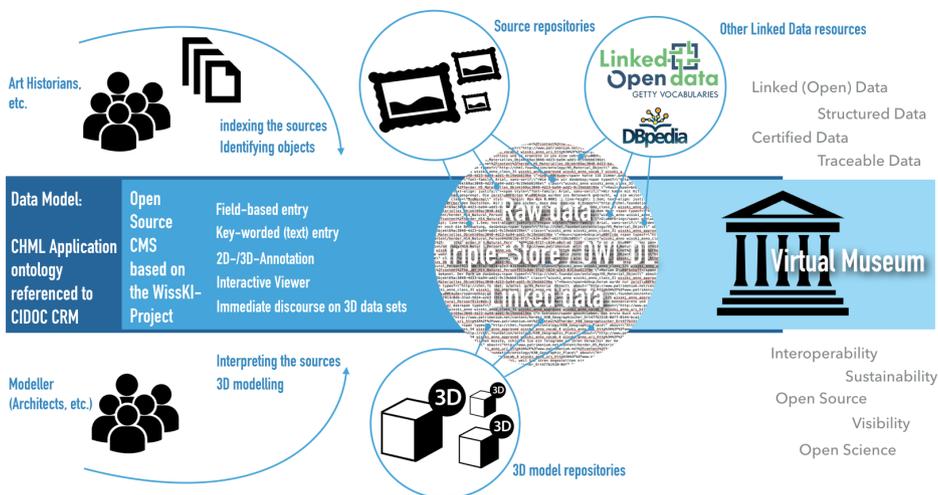
■ 35
<http://wiss-ki.eu/>.

■ 36
<https://www.drupal.org/>.

□ 10
 Grafische Darstellung des Konzeptes einer Virtuellen Forschungsumgebung für digitale 3D-Rekonstruktionen (Copyright Piotr Kuroczyński, 2016).

WWW.PATRIMONIUM.NET

DESIGN OF THE VIRTUAL RESEARCH ENVIRONMENT



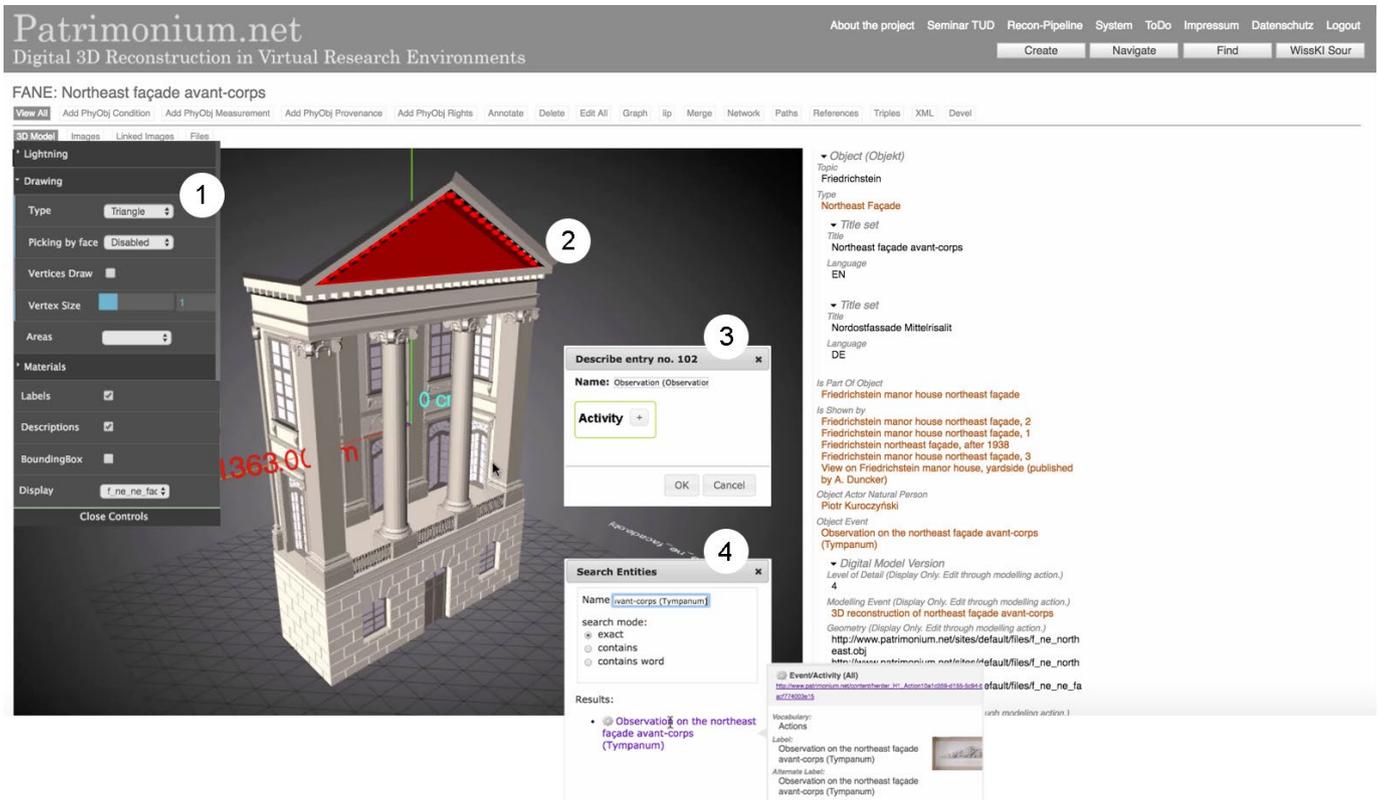
Neben der Eingabe/Erfassung von Daten in Datenfelder sind auch Freitextannotationen möglich. Sie können für (geistes-)wissenschaftliche Ausführungen, Argumentationen und Diskussionen genutzt werden. Ein wesentliches Merkmal der Textannotation ist die Funktionalität der Hypertext-Verlinkung und der Verschlagwortung auf die semantischen Instanzen der systeminternen Forschungsdaten. Hierzu kann zwischen zwei Eingabe-Modi, Full HTML und WissKI Annotated HTML, gewählt werden.

Die Einbindung der 3D-Modelle erfolgt über die Implementierung eines WebGL-Fensters innerhalb der HTML-Architektur. ^[37] Die Open-Source-WebGL-Technologie unterstützt die webbasierte interaktive Visualisierung von 3D-Modellen und wird zunehmend als vorinstalliertes Plugin von Web-Browsern unterstützt. Die 3D-Modelle können in unterschiedlichen Softwareprogrammen erstellt werden. Für die 3D-Visualisierung in der VFU werden das offene OBJ-Format für die Geometrie und das MTL-Format für die Textur (Materialität) als bewährte textbasierte 3D-Formate verwendet. ^[38] Die freie Betrachtung der Modelle stellt eine Grundvoraussetzung einer direkten wissenschaftlichen Auseinandersetzung im virtuellen Raum dar, wobei neben der Visualisierung der hypothetischen Rekonstruktionsmodelle ebenfalls 3D-Punktwolken aus einer 3D-Laserscan Bestandserfassung mit dargestellt werden können.

■ 37
WebGL (Web Graphics Library) ist eine JavaScript-Programmierschnittstelle, mit deren Hilfe 3D-Grafiken hardwarebeschleunigt im Webbrowser ohne zusätzliche Erweiterungen dargestellt werden können. Siehe hierzu: <https://www.khronos.org/webgl/>.

■ 38
OBJ ist ein offenes Dateiformat zum Speichern von dreidimensionalen geometrischen Formen. Optische Materialeigenschaften werden in einer separaten Materialdatei (MTL) definiert, die auch Angaben zu Texturierungen enthalten kann. https://de.wikipedia.org/wiki/Wavefront_OBJ.

Basierend auf der WebGL-Technologie kann eine 2D- und 3D-Annotation angewendet werden. Mittels einer Auswahl der Flächen (**picking by face**) oder Freihandzeichnung von Polygonen können ausgewählte Stellen am 3D-Modell und auf den 2D-Quellen annotiert werden. Dabei wird die Auszeichnung einer Stelle mit einer neuen **Aktivität** verknüpft. Auf diese Weise können erstmals direkt an den 3D-Datensätzen wissenschaftliche Diskussionen geführt werden, die als eine Erweiterung der »digitalen Fußnoten« gesehen werden können. Im Fall der 2D-Annotation von Quellen kann ebenfalls auf WebGL zurückgegriffen werden, wobei eine elegantere Umsetzung durch Skalierbare Vektorgrafiken (**SVG**) zu erwarten ist. ¹¹



□ 11
 3D-Annotation innerhalb der Virtuellen Forschungsumgebung auf www.patrimonium.net. [1] Steuerungsfenster der WebGL-Visualisierung mit aktivierter Zeichnung eines Triangle, [2] auf der Geometrie gezeichnetes Feld, [3] Pop-up-Fenster für die Verknüpfung des Feldes mit einer semantischen Instanz Activity, [4] Pop-up-Fenster zur Suche einer semantischen Instanz innerhalb der Datenbank, mit der das gezeichnete Feld verknüpft werden soll (Copyright Piotr Kuroczyński, 2016).

Das Frontend der VFU richtet sich nach den Prozessen und den Top-Level-Classes des Datenmodells. In ihm können Objekte, Quellen, Ereignisse bzw. Aktivitäten, juristische bzw. natürliche Person sowie Orte erstellt werden. Einen Sonderfall stellt hier der TYPE-Editor dar, der die Handhabung der projektinternen Klassifikation, der Disambiguierung und der Anbindung an andere Linked-Data-Repositoryen ermöglicht. Im Editor können durch qualifizierte Projektmitarbeiter der Kurzname (**ID**) und der Name (**Title Set**) angesetzt werden sowie die Anbindung referenzierter Normdaten und kontrollierter Vokabulare (**Identifier Set**) erfolgen. Die für eine bau- und kunsthistorische Betrachtung wichtige Hierarchisierung der Klassen wird durch die Datenfelder **Broader Term** (Pflichtfeld), **Narrow Term**, **Can Be Part Of** und **Can Have Part** gewährleistet.

Im Hintergrund der feld- und textbasierten Eingaben werden die Daten strukturiert und semantisch erschlossen. Die Forschungsdaten liegen im Ergebnis in einer semantischen Graph-Datenbank in Linked-Data-Format (OWL DL/RDF-Triple-Store) und können durch die Abfragesprache für RDF (SPARQL)

von außen angesteuert und ausgewertet werden. Die 3D-Datensätze werden mit den Einträgen verlinkt und liegen unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-SA frei zum Download auf dem Datenserver.

H.7 Computergestützte 3D-Visualisierung

Die mit der WebGL-Technologie in Verbindung stehende Entwicklung zeigt die Tendenz einer webbasierten Vermittlung von Inhalten im dreidimensionalen virtuellen Raum. Das Internet wird dreidimensional; die Entwicklung dorthin spiegelt sich u. a. in den Beiträgen der SIGGRAPH-Jahrestagung **Web3D** wider. ³⁹ Die Etablierung freier (wenn auch nicht Open Source) 3D-Repositoryn wie **3D Warehouse** von Google oder **Sketchfab**, ⁴⁰ ermöglichen es einer wachsenden Community von Content-Providern, ihre Modelle zu veröffentlichen. Zunehmend erkennen auch Forschungseinrichtungen, welche Möglichkeiten sich eröffnen, wenn bspw. digitalisierte archäologische Funde oder ganze Baudenkmäler mit Annotationen versehen bei Sketchfab hochgeladen werden. ⁴¹ Es kann nur eine Frage der Zeit sein, bis digitale Bibliotheken wie die **Europeana** sowie Lands- und Universitätsbibliotheken die Dienstleistung einer 3D-Publikation in dieser Weise anbieten werden.

Fachverlage im Bereich des wissenschaftlichen Publizierens arbeiten daran, die Veröffentlichung interaktiver 3D-Modelle und deren Anbindung an den wissenschaftlichen Diskurs zu ermöglichen. ⁴² Somit besteht schon jetzt die Aussicht darauf, dass in naher Zukunft interaktive Modelle die Buch- und Zeitschriftenbeiträge nicht nur **bebildern**, sondern das Wissen **ganzheitlich und begreifbar** vermitteln, so dass die digitale 3D-Rekonstruktion als ein wissenschaftliches Informationsmodell begriffen werden kann. ⁴³

Die Fortschritte in der Entwicklung der **Virtuellen Realität**, wie z. B. die Entwicklung von Head-Mounted Displays und Caves, lässt erwarten, dass sehr bald gemeinschaftliches, immersives Arbeiten möglich sein wird. Projekte wie **Photoportals – Shared References in Space and Time** an der Bauhaus-Universität in Weimar zeigen, wie die digitalen 3D-Modelle der Lehre in Kunst- und Architekturgeschichte demnächst dienen können. ⁴⁴ ¹²

Die Technologien für die partizipativ-explorative Anwendung von 3D-Modellen sind bereits vorhanden. Eine weiterhin drängende Frage der computergestützten Visualisierung bleibt allerdings bestehen: Die Frage, wie sich die dem Modell zugrunde liegende Hypothese darstellen lässt, ist weitestgehend ungelöst. Seit längerem wird über die Einigung einer Farbgebung hinsichtlich der Hypotheseanteile diskutiert, wobei die Konzeptionen einer parametrischen Werteskala zur Abbildung der Hypothese je nach der Informationsdichte der vorliegenden Quellen im Vergleich zum daraus resultierenden Modell interessant zu verfolgen sind. ⁴⁵ Einen von der Ästhetik getriebenen Ansatz bei der Darstellung der **Wissensunschärfe** verfolgt der Beitrag von **Dominik Lengyel und Catherine Toulouse** (→ 203) in diesem Band. Ernsthaftige Lösungen können die Konzepte jedoch nur hervorbringen, wenn ihre Anwendbarkeit in größerem Maße bewiesen werden kann.

■ 39
<http://web3d2016.web3d.org/>.

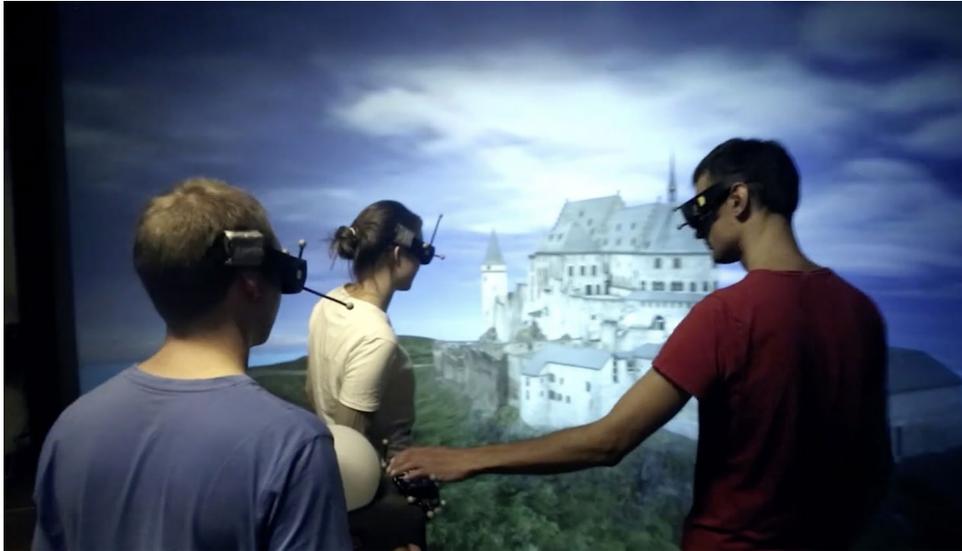
■ 40
<https://3dwarehouse.sketchup.com/>
und <https://sketchfab.com/>.

■ 41
Eine Sketchfab-Suche nach Modellen per Eingabe roman coin bzw. colosseum zeigt eine große Auswahl an 3D-Datensätzen. Die Links verlieren schnell an Aktualität, so dass von Beispielen mit Nennung der URL abgesehen wird.

■ 42
<https://scholarworks.iu.edu/journals/index.php/sdh/index>.

■ 43
Eine aktuelle Auseinandersetzung mit digitaler 3D-Rekonstruktion im Dienste der Wissenschaft behandelt die Publikation: Piotr Kuroczyński, Mieke Pfarr-Harfst, Sander Münster (Hg.), *Der Modelle Tugend 2.0 – Vom digitalen 3D-Datensatz zum wissenschaftlichen Informationsmodell*, Heidelberg: arthistoricum.net, 2019.

■ 44
Andre Kunert, Alexander Kulik, Stephan Beck, Bernd Froehlich, *Photoportals: Shared References in Space and Time*, in: *Proceedings of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing*, New York 2014, pp. 1388–1399, <https://www.uni-weimar.de/de/medien/professuren/vr/research/hci/photoportals-shared-references-in-space-and-time/> und <https://vimeo.com/135256581>.



□ 12
Interaktive und kollaborative Begehung
des Schlosses Vianden in einer Virtual
Reality Anwendung (Copyright Bau-
haus-Universität Weimar, 2014).

■ 45

Fabrizio I. Apollonio, *Classification Schemes for Visualization of Uncertainty in Digital Hypothetical Reconstruction*, in: Sander Münster et al., *3D Research Challenges in Cultural Heritage II, How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage* Springer 2016, S. 173–197.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47647-6_9.

H.8 Neue Räume für Kunstgeschichte oder Fortführung der kunstgeschichtlichen Tradition mit neuen Mitteln?

Die digitale 3D-Rekonstruktion bietet ein enormes Potenzial für alle objektbezogenen Fachdisziplinen. Die räumlich-atmosphärische Rekonstruktion eines Objekts anhand von Quellen stellt einen höchst interpretativen und geistig-schöpferischen Prozess dar. Die ganzheitliche Betrachtung und Auseinandersetzung mit den Fragestellungen an das Objekt erfordert eine umfassende Behandlung innerhalb der 3D-Szene einer Software und stellt den Wissenschaftler vor enorme Herausforderungen hinsichtlich der Dokumentation seiner Entscheidungen und Hypothesen. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass, während technisch gesehen jeglicher Anspruch an eine fotorealistische Darstellung möglich ist, die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der 3D-Visualisierung und der 3D-Datensätze nicht gegeben sind. Die ersten Ansätze in Richtung **Neue Räume für die Kunstgeschichte** lassen sich angesichts der geschilderten Projekte nur erahnen. So lange **Virtuelle Forschungsumgebungen** an Informationseinrichtungen wie zum Beispiel Universitätsbibliotheken

nicht verstetigt werden und nicht der angewandten Forschung an der Schnittstelle zwischen Kunstgeschichte, Computer, Graphik und Informatik zur Verfügung stehen, wird die digitale 3D-Rekonstruktion auf lange Sicht gesehen keinen innovativen Mehrwert liefern. Will die digitale 3D-Rekonstruktion einen Beitrag in den Digital Humanities leisten, so muss sie das ihren Modellen zugrunde liegende Wissen nachhaltig sichern und mit weiteren digitalen Forschungsdaten in Verbindung bringen. Sie muss der **neuen Datenkultur** folgen.