

Digitale 3D-Modelle als Quellen der Objektforschung

ERIKA ÉRSEK

Abstract

Im Jahr 2017 hat sich am Karlsruher Institut für Technologie ein Forschungsprojekt mit der 3D-Digitalisierung von historischen Anlagen der Technik beschäftigt. Dabei wurden bildgebende Verfahren hinsichtlich ihrer Anwendungsmöglichkeiten und ihres Aussagewerts erforscht. Auf der Grundlage dieses Projektes soll ein Digitalisierungsvorhaben zur „3D-Digitalisierung von Kulturdenkmälern der Technik als Quellen der Technikgeschichte“ in der Förderlinie „eHeritage“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) beantragt werden. Die aufbereiteten 3D-Modelle sollen der objekt- und technikgeschichtlichen Forschung sowie verwandten Fachgebieten als Quellen dienen.

Der vorliegende Beitrag berichtet aus der Praxis und skizziert den Gegenstand des Pilotforschungsprojektes und dessen Ergebnisse. Eine Dissertation zum Thema „Digitale 3D-Quellen in der Technikgeschichte“, die auf den Projekterkenntnissen aufbaut, wird derzeit durch die Projektbearbeiterin und Verfasserin dieses Berichts vorbereitet.

Einleitung

Das Teilinstitut für Geschichte (IfG) am Institut für Technik-zukünfte (ITZ) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) plant in einer Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege (LAD) im Regierungspräsidium Stuttgart die 3D-Digitalisierung von Kulturdenkmälern der Technik, um so die technikhistorische Objektforschung zu unterstützen. Die Aufgabe des Forschungsprojektes war es, geeignete Methoden der 3D-Digitalisierung für die bildgebende Darstellung von historischen Technikbauten zu erschließen. Der Schwerpunkt lag auf den zu untersuchenden Verfahren der digitalen Erfassung von komplexen Objekten, der Erstellung von digitalen 3D-Modellen auf Grundlage der Erfassung sowie darauf, den Aussagewert der Modelle zu überprüfen. Damit sollte der Lehre und Forschung ein informativer und visueller Mehrwert zum Verständnis historischer Technikbauten geboten werden. Hierzu werden fotorealistische 3D-Modelle mit animierten digitalen Rekonstruktionen verknüpft und mit Informationen angereichert.

Im Folgenden wird von den gewählten Methoden der Digitalisierung berichtet, ebenso wie von den verwendeten Geräten und Software-Programmen. Ferner wird die Sichtbarmachung der Objekte anhand der 3D-Modelle erläutert. Dem folgt ein Überblick, wie die im Projekt erstellten 3D-Modelle in der universitären Lehre eingesetzt worden sind.

Methode

Bei der Methodenauswahl zur 3D-Digitalisierung knüpfte das Projekt an die Verfahren und Praxiserkenntnisse des Projektpartners am LAD im Bereich der Archäologie an.¹ Diese setzt etwa bei der Dokumentation von Ausgrabungen seit Jahren das SfM-Verfahren ein. „Structure from Motion“ ist eine photogrammetrische Entfernungsbildungstechnik, mit dem sich dreidimensionale Strukturen aus zweidimensionalen Bildsequenzen errechnen lassen (WESTOBY, BRASINGTON, GLASSER u. a. 2012). Das zu digitalisierende Objekt wird hierbei durch eine digitale Fotokamera erfasst. Eine 3D-Software ordnet die Bilder zu einem dreidimensionalen Modell an.

Eine weitere Möglichkeit zur dreidimensionalen Digitalisierung ist das Laser-Scanning, das in der Bauforschung weit verbreitet ist und sich teilweise mit dem Gegenstand des Projektes überschneidet. Im Projekt ist nicht nur vorgesehen, die technische Einrichtung einer Anlage zu erfassen, sondern auch die räumliche Umgebung. Die Meinungen über die „richtige“ Methode der Digitalisierung gehen bei den Fachleuten auseinander.² Der Grund ist in der Verwendung der 3D-Modelle zu suchen. Die maschinellen Einrich-

1 2015 kam es bereits zu einer Kooperation zwischen der Industriearchäologie und der Archäologie, bei der das SfM-Verfahren versuchsweise auf Kulturdenkmäler der Technik angewendet wurde. Dabei wurde das Bergwerk „Tiefer Stollen“ in Aalen-Wasseralfingen in 3D digitalisiert.

2 Der fachliche Austausch zum Forschungsprojekt fand insbesondere mit dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung des KIT und der Bauforschung und Archäologie am LAD (Esslingen) statt.

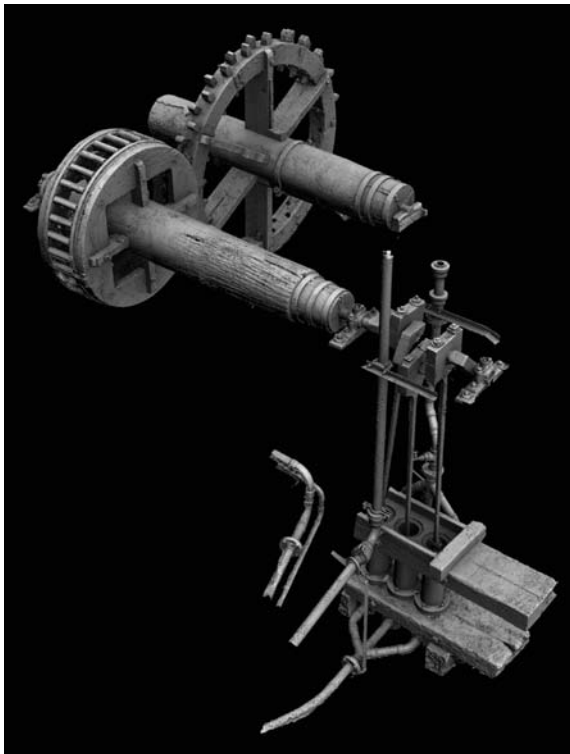


Abb. 1: SfM-Modell mit Fototextur (Rendering, Ausschnitt): Radantrieb und Pumpe, Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Erstellt mit RealityCapture, 2017. Bild: Markus Steffen © LAD RPS

tungen sind nicht selten komplex und erstrecken sich über viele Räume. Die Schwierigkeiten bei der Digitalisierung des Wasserwerks in Schwetzingen (Abb. 1) traten besonders bei der möglichst sorgfältigen Erfassung der vielen kleinteiligen Einzelteile der Zahn- und Antriebsräder auf. Der Umstand, dass die technische Installation in Schwetzingen (wie auch bei anderen Anlagen) sehr beengt ist und der Einsatz einer Fotokamera mehr Mobilität zulässt als ein Laser-Scanner, ist nur eine der Ursachen, warum das Projekt sich für das SfM-Verfahren entschieden hat. Der Hauptgrund ist jedoch die Absicht, Kulturdenkmale der Technik in ihrem materiellen Zustand so realistisch wie möglich zu dokumentieren. Das SfM-Verfahren bietet diese Möglichkeit und ist im Vergleich zum Laser-Scanning schneller, einfacher und kostengünstiger.

Vergleichende Aufnahmen zwischen beiden Verfahren, also SfM und Laser-Scanning, konnten aus terminlichen Gründen während des Projekts nicht hergestellt werden. Dies soll im Hauptprojekt nachgeholt werden.

Vermessungsingenieure beanstanden beim SfM-Verfahren eine größere Ungenauigkeit. Während ein Laser-Scanner eine Genauigkeit von bis zu drei Millimetern aufweist, brachten die SfM-Aufnahmen von Schwetzingen mitunter eine Diskrepanz von sieben Millimetern mit sich. Dies kann mehrere Gründe haben: Bildunschärfen bei den

Aufnahmen, eine ungenügende Bildauflösung, eine zu geringe Bildanzahl und die verwendete SfM-Software können als Ursachen in Betracht kommen. Dies sind allerdings Faktoren, die behoben werden können. Anwender des SfM-Verfahrens sehen jedoch in der größeren Ungenauigkeit dieser Methode keinen Nachteil. Die Frage der Genauigkeit ist auch mit dem Digitalisierungsziel verknüpft, denn das KIT-Projekt strebt vor allem die Vermittlung der Funktionsweise der technischen Apparatur an.

Der Problematik kann durch eine Kombination von Laserscan-Aufnahmen und fotografischen Erfassungsmethoden entgegengewirkt werden. Die 3D-Software „RealityCapture“ ist in der Lage, die Daten beider Verfahren zu verrechnen und miteinander zu verknüpfen.

Instrumente der Sichtbarmachung

Die Instrumente, die zur Digitalisierung durch das SfM-Verfahren benötigt werden, sind eine digitale Fotokamera und mehrere 3D-Software-Programme. Hierzu wird das Objekt zunächst aus allen Perspektiven fotografiert.³ Ein Software-Programm verrechnet die Bildinformationen zu einem dreidimensionalen Objekt. Das Ergebnis ist ein 3D-Modell mit Fototextur, das sich aus allen Blickwinkeln einsehen lässt (Abb. 1). Die Fotografien müssen nach einem bestimmten Schema aufgenommen werden. Es werden Bildreihen von leicht versetzten Standpunkten aus angefertigt, die sich jeweils überlappen. Blende, Belichtungszeit, Brennweite und ISO-Wert sollten manuell festgelegt und durchgängig für alle Aufnahmen verwendet werden. Das Motiv muss eine große Schärfentiefe haben, und das Objekt sollte idealerweise gut ausgeleuchtet sein. Da Beleuchtungen bei der Gesamterfassung im Bild unweigerlich mit abgebildet werden oder in die Kamera scheinen können, empfiehlt es sich, Blitzgeräte zu benutzen, was sich auch im Projektverlauf bewährt hat. Wichtig ist, das Objekt aus verschiedenen Perspektiven aufzunehmen. Man sollte sich um das Objekt herum bewegen, nicht um den eigenen Winkel. Daher stammt der Begriff „Structure from Motion“.

Im Projekt wurden zwei photogrammetrische 3D-Programme zur Anfertigung der digitalen 3D-Modelle angewendet und auf ihre Eignung geprüft. Zunächst wurde auf Agisoft PhotoScan zurückgegriffen. Obwohl das Programm leicht zu bedienen ist, kann die Verrechnung der Bilder bei großen Objekten mit entsprechend vielen Abbildungen lange Zeit in Anspruch nehmen und benötigt daher viel Rechenleistung. Das Ergebnis kann gut ausfallen. Das Programm ist allerdings eher für kleinere Objekte geeignet, jedoch weniger, um Räume zu erfassen. Die Unterschiede

3 D. h. alle Perspektiven, die möglich sind. Bei sehr großen Anlagen kommt eine Drohne zum Einsatz. Stellen, die von der Kamera nicht eingenommen werden können, bilden Lücken im SfM-Modell.



Abb. 2: Punktwolke (Glas-Rending): Pumpenraum mit Pumpenschacht, Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Erstellt mit Agisoft PhotoScan und MeshLab, 2017. Bild: Erika Érsek © ITZ, KIT

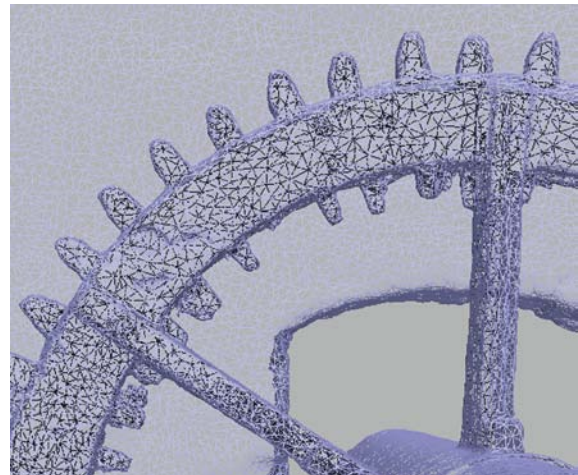


Abb. 3: Mesh vom Zahnrad: Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Erstellt mit Agisoft PhotoScan, 2017. Bild: Erika Érsek © ITZ, KIT

sind besonders im Vergleich unverkennbar. Das Programm „RealityCapture“ von CapturingReality verrechnet Aufnahmen in wesentlich kürzerer Zeit mit besseren Ergebnissen. Die Texturen werden hier realistischer und hochwertiger dargestellt. Vor allem aber wird die Geometrie präziser und umfassender herausgebildet.

Die Berechnung der Modelle läuft bei beiden Programmen im Wesentlichen gleich ab. Im ersten Ablauf, dem Align, werden von der Software die Positionen der Kamerastandpunkte ermittelt und in die entsprechende Reihenfolge gebracht, indem es Merkmale wie Eckpunkte sowie Kanten mit Farbverläufen von Bild zu Bild verfolgt. An sich

wiederholenden markanten Stellen eines jeden Fotos werden Punkte gesetzt. Auf diese Weise bildet das Programm eine dreidimensionale Punktwolke (Abb. 2). Im zweiten Ablauf wird die Punktwolke zu einer sogenannten „Dense Cloud“ verdichtet, d. h. die Punkte aus dem ersten Schritt werden durch Algorithmen vervielfacht. Danach werden alle Punkte durch diagonale Linien miteinander verbunden. So entsteht ein Polygonnetz, das sogenannte „Mesh“, das einen Körper simuliert, indem es die Punkte durch Linien verbindet und so die Bildung von Flächen ermöglicht (Abb. 3). Auf diese Flächen wird abschließend die Fototextur projiziert (wofür der Begriff des „mapping“ üblich ist) (Abb. 4) (FISCHER 2015).



Abb. 4: SfM-Modell mit farbiger Fototextur (Ausschnitt): Pumpenraum, Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Erstellt mit der Software RealityCapture, 2017. Bild: Markus Steffen © LAD RPS

Die Verrechnung der Fotografien entspricht einem automatischen Prozess. In diesen kann jedoch eingegriffen werden. Die Ergebnisse eines jeden Abschnittes lassen sich in andere Programme exportieren und falls nötig bearbeiten.⁴ Unter anderem können falsch dargestellte Geometrien, die durch eine fehlerhafte Verrechnung entstanden sind, in Freeware-Programmen wie „CloudCompare“ teils bearbeitet und behoben werden.

Die Abschlussarbeit des Bachelorabsolventen Ludwig List am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung des KIT untersuchte im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt am IfG eine weitere photogrammetrische 3D-Software auf ihre Genauigkeit.⁵ Die Software „PhotoModeler“ erlaubt es, im Programm auf den Fotos manuell Punkte zu setzen und diese mit Linien zu verbinden. Auf diese Weise lässt sich ein ‚maßangefertigtes‘ 3D-Modell von einem Objekt erstellen. Die selbst gesetzten Punkte entsprechen abgemessenen Strecken. Diese Methode gewährleistet absolute Maßgenauigkeit und stellt für die digitale Rekonstruktion eine elementare Hilfe dar, da es diesen mitunter schwierigen Vorgang in der CAD-Software ersetzt.⁶

Die Sichtbarkeit

Das photogrammetrisch basierte Modell begründet sich durch seine dokumentarische Funktion. Die Erhaltung des kulturellen Erbes kann nicht auf Dauer gewährleistet werden. Besonders technische Einrichtungen laufen Gefahr, aus ökonomischen Gründen abgebrochen oder aus ihrem Kontext herausgelöst und transloziert zu werden. Dieser Umstand hat in den 1980er und 1990er Jahren den Verlust von unzähligen maschinellen Anlagen nach sich gezogen.⁷ Das fotorealistische 3D-Modell wird auch in Zukunft eine wirklichkeitsnahe und authentische Wiedergabe von Kulturdenkmälern der Technik ermöglichen. Anhand einer VR-Brille lassen sich die Kulturdenkmale auch bei Verlust virtuell begehen und erleben.

Neben der räumlichen Anschauung sowie den Dimensionen der maschinellen Einrichtung vermittelt das Modell auch einen Eindruck von den Materialien sowie von der Oberflächenbeschaffenheit samt Gebrauchsspuren. Für die

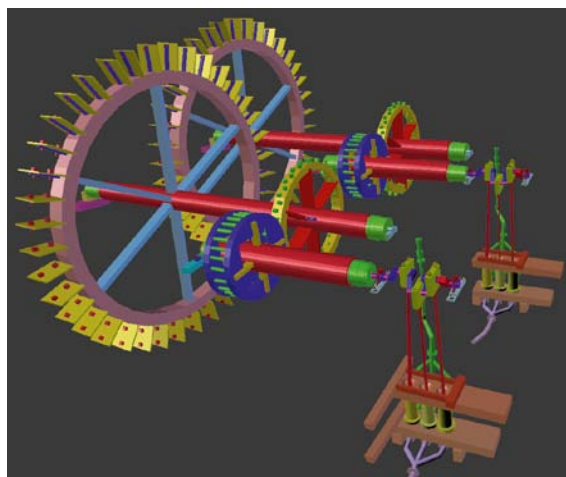


Abb. 5: Digitale Rekonstruktion der Pumpanlage mit Wasser-, Zahn-, Antriebsrädern und Pumpen (Doppelung): Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Erstellt mit Blender, 2017. Bild: Erika Érsek © ITZ, KIT

Forschung ist besonders die materielle Wiedergabe der Objekte mit ihren Gebrauchsspuren und räumlichen Zusammenhängen von Bedeutung (ZUMBRÄGEL 2018). Materielle Quellen erzählen vom Vollzug, von der Ausführung und Anwendung. Sie sind das wesentliche Merkmal aller technischen Einrichtungen. Aus ihnen lassen sich historische Erkenntnisse gewinnen (HASCHER 2015). Die Beschaffenheit wie auch der räumliche Kontext von Objekten können bei Verlust nur schwer rekonstruiert werden. Der Vorteil der digitalen 3D-Modelle gegenüber klassischen Dokumentationen ist in dem Umstand zu suchen, dass sie alle visuellen und technischen Daten in einer Form vereinen und räumlich darstellen.

Aus den Daten der Punktwolke lassen sich mit einem CAD-Programm Pläne erstellen, z. B. Grundrisse vom Raum sowie Schnitte von den Maschinen. Ein wichtiges Kriterium hierfür ist der Maßstab. Die Größenverhältnisse können in das 3D-Modell eingegeben werden, indem bestimmte Strecken am Original abgenommen und an identischen Stellen in das Modell eingetragen werden. Das SfM-Verfahren entspricht somit auch einem Vermessungsinstrument. Durch die Messeigenschaft wird die Möglichkeit geschaffen, Maschinen virtuell zu rekonstruieren.

Eine digitale Nachbildung ermöglicht zudem die Darstellung von einzelnen Komponenten als Volumenkörper. Mit einem CAD-Modell⁸ lassen sich sämtliche Einzelteile einer Maschine nachbauen. Dies trägt zum besseren Verständnis des Aufbaus bei (Abb. 5), kann aber auch ent-

4 Bei den im Projekt entstandenen Modellen sind keine Bearbeitungen vorgenommen worden.

5 Die Abschlussarbeit bzw. deren Ergebnisse können auf Anfrage am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, KIT, eingesehen werden.

6 Punktwolken lassen sich in 3D-Zeichen-Programme importieren und als Grundlage zur Erstellung von Volumenkörpern verwenden. Hierzu müssen einzelne Punkte aus der Punktwolke abgegriffen und miteinander verbunden werden. Eine Punktwolke kann jedoch aus Tausenden bis mehreren Millionen Punkten bestehen.

7 LAD RPS, Registratur, Ortsakten.

8 CAD (computer-aided design) bezeichnet das Erzeugen von geometrischen Modellen mittels EDV.

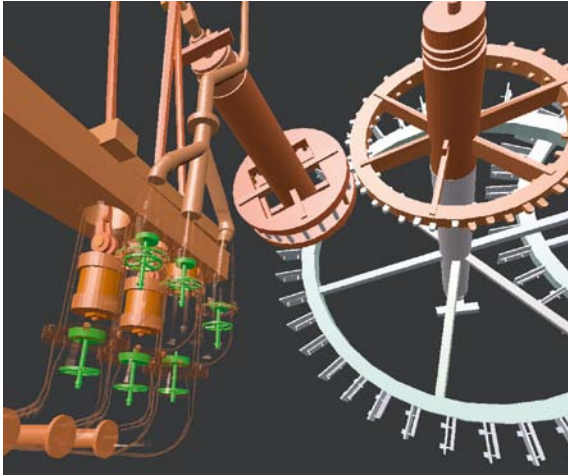


Abb. 6: Innenansicht der Wasserrohre mit Ventilen: Unteres Wasserwerk (1762–1765), Schlossgarten Schwetzingen. Digitale Rekonstruktion mit Blender, 2017. Bild: Erika Érsek © ITZ, KIT

scheidend sein, um abgegangene Teile virtuell wiederherzustellen und gar die Geschichte einer Anlage aufzuzeigen. Eine Rekonstruktion macht den Umfang einer Maschinenanlage sichtbar, wenn dieser sich über mehrere Räume und Stockwerke erstreckt und in seiner Gänze vor Ort nicht erfasst werden kann. 3D-Rekonstruktionen lassen den Blick hinter Wände zu und Zusammenhänge von komplexen Gefügen nachvollziehbar werden.

Per Funktionsdefinition der einzelnen Elemente ist es auch möglich, deren Funktionsweise zu veranschaulichen. Durch Animationen lassen sich die einzelnen Bestandteile in Bewegung setzen. Eine in Betrieb befindliche Anlage hat eine größere Aussagekraft als eine stillgelegte. Ist jedoch die Funktionalität nicht mehr gegeben, fehlt ein wichtiger Teil zum Verständnis der Mechanik. Dies ist jedoch Grundvoraussetzung für eine wissenschaftliche Beschäftigung mit einem technischen Objekt. Bei stillgelegten Anlagen wirkt die virtuelle Animation der 3D-Modelle dem Verlust an Anschaulichkeit entgegen. Die Animationen lassen zudem mehr Einsichten zu, als sie das Original ermöglichen würde. Die virtuelle Konstruktion macht verdeckte Funktionsweisen sichtbar. Sie kann das Ineinandergreifen einzelner Maschinenelemente darstellen, die man vor Ort aus baubedingten Gründen nur teilweise verstehen kann (Abb. 6).

Anwendung in der Lehre

Im Sommersemester 2018 kamen die 3D-Modelle vom historischen Wasserwerk in Schwetzingen auch in einer interdisziplinären Lehrveranstaltung an der Universität Stuttgart zum Einsatz. Die Abteilung für Wirkungsgeschichte der Technik am Historischen Institut und das Institut für

Maschinenbau veranstalten hier gemeinsam Seminare, in denen Studenten aus verschiedenen technischen Fachrichtungen zusammen mit Technikhistorikern gemeinsam Themenfelder erarbeiten und einander ihre Wissensgebiete vermitteln. Dabei werden die jeweiligen Methoden der Disziplinen miteinander verknüpft, um fächerübergreifende Erkenntnisse zu gewinnen. Das in diesem Zuge abgehaltene Seminar „Speiende Vögel, zerstampfte Knochen. Das Untere Wasserwerk in Schwetzingen und die Spuren seiner Nutzung“ widmete sich konkret dem digitalisierten Objekt des Forschungsprojektes am KIT. Die Aufgabe der Studenten lautete, die Nutzung und Funktion des Pumpwerks kennenzulernen und zu erarbeiten.

Die Studenten konnten das SfM-Modell am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation in einer sogenannten „Cave“ mit 3D-Brillen begehen.⁹ Im Modell konnten sie insbesondere den Pumpenschacht einsehen, der nur wenige Quadratmeter misst und vor Ort nicht zugänglich ist.¹⁰

Als besonders wichtig erwies sich die Darstellung der technischen Abläufe durch die virtuelle Animation. Die Rekonstruktion mit der Innenansicht der Rohre vermittelte den Studenten die genaue Funktionsweise des stillgelegten Wasserwerks.

Der Maschinenbau konnte aus der digitalen Rekonstruktion die Maße entnehmen, die in Plänen nicht so vollständig und detailliert enthalten sind. Mit den Daten aus den Modellen wurden Berechnungen zu den technischen Größen, Belastungen und Kapazitäten vorgenommen.¹¹

Am Ende des Seminars präsentierten die Studenten ihre Ergebnisse in einer Ausstellung. Durch nachgebaute Modelle des Wasserwerks sowie Schauplätze der Wasserspiele im Schlossgarten wurden der Aufbau der technischen Einrichtung und der Weg des Wassers in den Garten veranschaulicht. Die digitalen Modelle wurden mit Videoaufnahmen der Studenten vom Original in Schwetzingen zu einem Film zusammengeschnitten und auf einem Bildschirm als erweiterte Wissensvermittlung gezeigt.

9 Eine „Cave“ (Cave Automatic Virtual Environment, also eine Höhle mit automatisierter, virtueller Umwelt) bezeichnet einen Raum zur Projektion einer dreidimensionalen Illusionswelt auf mehrere große Wände. Im Gegensatz zur Verwendung einer VR-Brille bietet eine Cave mehreren Nutzern gleichzeitig die Möglichkeit, sich 3D-Modelle anzusehen und darüber zu diskutieren.

10 Die Anwendung der 3D-Modelle hatte im Seminar einen kleinen Teil eingenommen und beschränkte sich für die Studierenden der Technikgeschichte noch auf die reine Ansicht. In künftigen Seminaren soll den Studierenden die Gelegenheit zur aktiven Anwendung gegeben werden, um u. a. selbständig Daten aus den Modellen abzulesen und auszuwerten.

11 Der Umgang mit CAD-Modellen ist im Maschinenbau und in angrenzenden Fächern gängig.

Fazit

Mit der dreidimensionalen Digitalisierung des historischen Wasserwerks in Schwetzingen ist eines der Ziele des Projekts, eine grundlegende Auseinandersetzung mit dem Objekt, erreicht worden.

Eine solch umfangreiche und genaue Ausarbeitung der technischen Daten vom Unteren Wasserwerk war bislang nicht geschehen. Die Ergebnisse aus den Berechnungen des Maschinenbaus sind wertvolle Informationen, die eine bessere Einordnung des Objekts ermöglichen und in der Forschung vor allem für Vergleichsstudien relevant sind.¹²

Die abbildenden Informationen der 3D-Modelle wie Materialität und Zustand, die Rekonstruktion des gesamten technischen Apparates, besonders jedoch die Funktionsdarstellung der technischen Abläufe überzeugten die Studierenden. Sie bezeichneten den Aussagewert der Darstellungen als notwendige Informationen. Die Aufgabe, digitale 3D-Modelle als Quellen zu betrachten bzw. anzuwenden, stieß bei den Studierenden der Technikgeschichte jedoch noch auf Vorbehalte. Dies ist unter anderem auch auf fehlende Erfahrungen mit digitalen Informationsmedien im dreidimensionalen Bereich zurückzuführen. Die Diskussion darüber führte zurück zu den Basismethoden der Geschichtswissenschaft. Die Fragen nach den Quelleneigenschaften wurden wieder aufgegriffen und problematisiert: Was zeichnet eine Quelle als Quelle aus? Warum wird eine Quelle zur Quelle? Die Frage nach der Einstufung digitaler 3D-Modelle als Quellen ist in dem Seminar nicht abschließend geklärt worden. Die Definition und Anwendung wird wohl mitunter einen längeren und auch von Debatten weiter begleiteten Prozess durchlaufen.

Literatur

FISCHER, L. 2015. „Structure from Motion“ in der Praxis. 3D-Visualisierung mittels Digitalfotos. In: *Netzpublikationen zur Grabungstechnik*, Nr. 6, hg. von der Kommission Grabungstechnik, http://www.landesarchaeologen.de/fileadmin/Dokumente/Dokumente_Kommissionen/Dokumente_Grabungstechniker/Netzpublikationen/Fischer_Structure_from_Motion_06-2015.pdf (15.1.2018).

HASCHER, M. 2015. Kulturdenkmale der Industrie und des Handwerks zwischen Nutzung und Umnutzung. *Erhaltung von Kulturdenkmälern der Industrie und Technik in Baden-Württemberg* 31: 11–25.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F. u. a. 2012. „Structure-from-Motion“ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179: 300–314.

ZUMBRÄGEL, C. 2018. Objektgeschichten im Feld – das technische Ensemble Wassermühle. In: POPFLOW, M. (Hg.): *Technik- und Wissenschaftsgeschichte in der universitären Lehre. Formate, Adressaten, Konzepte*, Karlsruhe [im Druck].

Zur Autorin

Erika Érsek studierte Geschichte und Kunstgeschichte an der Eberhard Karls Universität Tübingen. Sie war mehrere Jahre für die Denkmalpflege in Tübingen und Esslingen tätig, bevor sie das „eHeritage“-Forschungsprojekt am Institut für Geschichte des KIT durchführte. Für das vom BMBF geförderte Pilotprojekt erstellte sie 3D-Digitalisate von verschiedenen technischen Kulturdenkmälern und erarbeitete ein Digitalisierungskonzept für ein Hauptprojekt. Zurzeit bereitet sie ihre Dissertation am KIT zum Thema „Digitale 3D-Quellen in der Technikgeschichte“ vor.

Kontakt

Erika Érsek M.A.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Geschichte

Douglasstraße 24, 76133 Karlsruhe

[erika.ersek\[at\]partner.kit.edu](mailto:erika.ersek[at]partner.kit.edu)

www.geschichte.kit.edu

12 Die Ergebnisse der Berechnungen werden im Rahmen der Veröffentlichung der 3D-Modelle zur Verfügung gestellt (www.geschichte.kit.edu).