

Digitalisierung bautechnischer Ausstellungsexponate für die Lehre und Ausbildung

Christian Kreyenschmidt, Jörg Härtel, Sebastian Hollermann
Institut für Datenbank orientiertes Konstruieren · Jade Hochschule · Ofener Strasse 16
26121 Oldenburg Germany ·
e-mail: idok@jade-hs.de

In der folgenden Veröffentlichung werden die Idee, das Verfahren und die Anwendung zur Digitalisierung von Ausstellungsexponaten für den Lehrbetrieb einer Hochschule beschrieben und diskutiert. Die Erläuterung von technischen Zusammenhängen und Details an einem Exponat oder einem Muster sind gängige Praxis in der Lehre und der Ausbildung. Moderne Darstellungsmethoden erlauben es diese Form der Darstellung und Erläuterung durch digitale Methoden zu ergänzen oder zu ersetzen. Die Möglichkeiten für eine Digitalisierung sind dabei sehr unterschiedlich und ebenfalls abhängig von der Expertise der Anwender bzw. Anwendenden. Dieser Beitrag befasst sich mit der Digitalisierung von 26 Exponaten des Holzbaus in photogrammetrische Modelle und deren Veröffentlichung für die Lehre. Die Veröffentlichung der anwendungsfertigen digitalen Modelle erfolgt über die Internetseite der Jade Hochschule. Darüber hinaus werden die Ergebnisse und ein Teil der Rohdaten ebenfalls auf der Open Science Plattform zenodo.org veröffentlicht.

Schlagwörter: E-Learning, Photogrammetrie, Hochschule, Holzbau, Digitalisierung

1 Einführung

1.1 Motivation

In der technischen Ausbildung ist es hilfreich sich Konstruktionen und dessen Ausführung mit einem Exponat zu verdeutlichen, um Details zu erklären. Über die letzten Jahre haben die Professoren der Jade Hochschule in allen Bereichen einiges an Exponaten zusammengetragen, mit deren Hilfe praxisnahe Materialien und konstruktive Verbindungen, wie beispielsweise in Abb.1 dargestellt, in den Vorlesungen vermittelt werden.



Abbildung 1: Holzbauexponate an der Jade HS
Quelle: Eigene Darstellung

Üblicherweise sind an technischen Universitäten sowie Hochschulen viele dieser Exponate in Materialprüfanstalten (MPA), Instituten oder in Laboren verfügbar. Leider werden bei Umstrukturierungen

durch Sanierung, Umbaumaßnahmen oder Reorganisation von Lehr- und Forschungsinstitutionen immer wieder Exponate entsorgt und gehen dadurch unwiderruflich verloren. Genau diese Problemstellung führte an der Jade Hochschule in Oldenburg zu der Frage, wie man diese Exponate nachhaltig dokumentieren und digitalisieren kann, um sie weiterhin in der Lehre nutzen zu können. Darüber hinaus sind die Exponate nicht allen Dozenten bekannt bzw. verfügbar, da es keine Inventarlisten über Lehrmaterialien an der Hochschule gibt. Des Weiteren war eine Überlegung, dass die Methoden der Digitalisierung den Hochschulen einige Möglichkeiten bieten, eine globale Sammlung an digitalen Modellen dieser Exponate (weiterhin als Mock-up bezeichnet) zu erstellen. Somit könnten Hochschulen ggf. auf eine digitale Mock-up Sammlung zugreifen, die weit mehr abbildet, als die physischen Exponate der einzelnen Hochschulen. Open Science Plattformen wären eventuell eine Möglichkeit um diese globalen Sammlungen zu verwalten.

1.2 Zielsetzung

Die Idee dieser Veröffentlichung steckt in der Digitalisierung von Anschauungsmaterialien, welches den Universitäten und Hochschulen vorliegt, um dieses Material den Studierenden und Dozierenden in den Vorlesungen, für das Eigenstudium und ggf. universitätsübergreifend der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, um damit mehr Transparenz in Lehre und Forschung zu bringen. Dabei soll es gelingen die Exponate möglichst so zu digitalisieren, dass die Handhabung niedrigschwellig und kostengünstig ist. Das sorgt für eine intensivere und umfassendere Nutzung der Mock-up's. Eine Darstellung in Modellierungssoftware wäre sicher ebenso lehrreich, ist jedoch mit höherem Aufwand und Expertise seitens der Dozenten verbunden und bildet kein realistisches Abbild des Exponates ab. Eine Modellierung der Exponate in einer Modellierungs- bzw. CAD Software ist in ergänzenden Projekten vorgesehen und könnte die hier veröffentlichten Ergebnisse um inhärente Informationen ergänzen.

2 Methodik

2.1 Analyse der Digitalisierungsmöglichkeiten

2.1.1 Beschreibung der Methodik

Die Digitalisierung eines Exponats kann sehr unterschiedlich erfolgen, daher wurde im Vorfeld eine Evaluierung der Maßnahmen und deren Anwendung durchgeführt. In diesem Fall haben wir uns mit der Fotografie, der Modellierung und der Photogrammetrie der Exponate beschäftigt. Im Folgenden werden die Digitalisierungsmöglichkeiten beschrieben und anschließend in ihren Stärken und Schwächen bewertet und analysiert.

2.1.2 Fotografie

Die Fotografie bzw. die bildliche Darstellung von Konstruktionen und Details ist nach wie vor eines der beliebtesten Mittel um dem Betrachter ein realitätsnahes Abbild zu verschaffen. Allerdings ist es für außenstehende Betrachter immer schwer sich in die räumliche Umgebung hineinzusetzen und sich ein Bild vom Ganzen zu verschaffen. Daher würde diese Methode erzwingen, dass wie in einem Plan mit Ansichten und Details im zweidimensionalen Raum gearbeitet wird, was viel Interpretationsspielraum für den Laien oder den Studenten lässt. Auch die Qualität der Bilddokumentation, sprich die Lichtverhältnisse, Projektion und perspektivische Darstellung machen es dem Betrachter nicht leicht in der Orientierung und dem Nachvollziehen der Aufnahmen.

2.1.3 Modellierung

Die Modellierung der Exponate würde ein gewisses technisches Grundverständnis in der Handhabung voraussetzen, wäre aber sicher ein geeignetes Mittel um sich mit den Konstruktionsdetails auseinanderzusetzen. Eine realitätsnahe Abbildung, sprich mit Texturen und Materialien der Konstruktionen und Exponaten, würde allerdings bedeuten, dass eine Festlegung auf ein Autorenprogramm erfolgen müsste, in dessen Format die Modelle zur Verfügung gestellt würden. In offenen Formaten wie z.B. IFC ist die Möglichkeit der realitätsgetreuen Darstellung derzeit nicht möglich, da diese i.d.R. nur eine eingeschränkte Farbdarstellung haben und auch die Oberflächenstruktur nicht entsprechend realitätsgetreu abbilden können. Somit würde nur ein eher abstraktes Abbild der Realität erzeugt. Diese sind für Schüler oder Studierende nicht sofort zuzuordnen.

2.1.4 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie hat in den letzten Jahren beträchtliche Fortschritte gemacht. Die Anwendung photogrammetrischer Methoden wird heute bereits vielfach in der Praxis eingesetzt. Sie ermöglicht es in beinahe beliebigen Größen und Komplexitäten digitale Modelle bzw. Mock-up's von physischen Objekten aus der Realität zu machen. Anwendungsbeispiele aus dem 3D Druck (Balletti et al., 2017) und der Modellbildung von Gebäuden, historischen Fassaden (Carnevali et al., 2018) und Topografien (Hinge et al., 2019) sind innerhalb kurzer Zeit zu Industriestandards geworden. Durch die Digitalisierung von Ausstellungsexponaten werden ganze Museen digitalisiert (Hess et al., 2018). Kleinobjekte, wie Insekten bis 3mm, können ebenfalls in photogrammetrischen Modellen aufgenommen werden, was die biologische Beschreibung und Erläuterung vereinfacht (Ströbel et al., n.d.). Durch die Darstellung der Texturen wird eine sehr realitätsnahe Abbildung des Exponates erzeugt und durch die räumliche Darstellung als 3D Modell wird das Modell als Ganzes betrachtet.

2.1.5 Vergleich der Methoden

Nach eingehender Pro und Contra Analyse (Tab. 1) der Möglichkeiten ist die photogrammetrische Aufnahme der Exponate mit der Software *Agisoft Photoscan* eine gute Möglichkeit zur Digitalisierung, da sich aus dem photogrammetrischen Modell ein realitätsnahes Mock-up für den Betrachter ergibt. Darüber hinaus ist die Nutzung der Software durch den intern vorgegebenen Workflow sehr intuitiv und auch für einen Fachlaien schnell und einfach umzusetzen.

	Vergleich der Darstellungsmethoden		
	Fotografie	Modellierung	Photogrammetrie mit (<i>Agisoft Photoscan</i>)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • sehr einfache Handhabung • schnelle Durchführung • realer Bezug zu den Exponaten 	<ul style="list-style-type: none"> • reine Modellierung ist schnell durchzuführen • Zerlegung und Darstellung der einzelnen Bauteile und Komponenten • veränderliche Geometrie • klare und eindeutige Geometrie 	<ul style="list-style-type: none"> • realer Bezug zu den Exponaten • Modell mit überlagerter Textur aus den Fotos sind einfach und auch für Laien verständlich zu handhaben und darzustellen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • abstrakte Darstellung • kein räumlicher Bezug zu dem Modell • unsortierte Daten 	<ul style="list-style-type: none"> • Texturen nur in Auto-renssoftware darstellbar • Ohne Texturen ergibt sich eine abstrakte Darstellung • kein realistischer Bezug zu den Exponaten • Erzeugen realitätsnaher Modelle ist arbeitsintensiv 	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugen realitätsnaher Modelle ist arbeitsintensiv • Innenecken teilweise ungenau modelliert

Tabelle 1: Vergleich der Methoden

Quelle: Eigene Darstellung

Die oben dargestellte Analyse verweist im Grunde darauf, dass keine der Methoden völlig ungeeignet ist. Die Komplexität liegt eher darin die Exponate so zu digitalisieren, dass sie für den Betrachter transparent und einfach nachzuvollziehen sind. Daher werden die Exponate im ersten Schritt durch ein photogrammetrisches Verfahren in ein Mock-up modelliert.

2.2 Geometrische Modellbeschreibung

Um ein geometrisches Modell durch Photogrammetrie zu erzeugen sind Bilddaten in einer ausreichenden Qualität erforderlich. Diese Qualität ist abhängig von Parametern wie Licht, Hintergrund und Umgebung, Modellvorbereitung, Kameraeinstellung und Modellausrichtung. Da einige der Modelle aufgrund der Größe nicht in der idealen Umgebung des Fotozeltes aufgenommen wurden, ist der Parameter Licht eine große Variable. Der Hintergrund ist möglichst schlicht zu halten und es darf innerhalb einer Fotoserie nicht zu Veränderungen des Hintergrundes kommen, da dies zu Fehlern in der Bildorientierung, des sog. Alignments, der einzelnen Bilder führen würde. Die Exponate sollten staubfrei sein und nach Möglichkeit keine Spiegelungen aufweisen, da dieses ebenfalls zu Fehlern in der Bildorientierung führen kann. Bei den Kameraeinstellungen ist darauf zu achten, dass es sich im Zuge der Aufnahme um

eine fixe Einstellung handelt, um Veränderungen in der Schärfe und der Helligkeit zu vermeiden. Das bedeutet, dass sich die Brennweite nicht verändern sollte und auch Features wie Autofokus deaktiviert sein sollten. Für eine hohe Qualität der Aufnahmen empfiehlt sich ein Stativ.

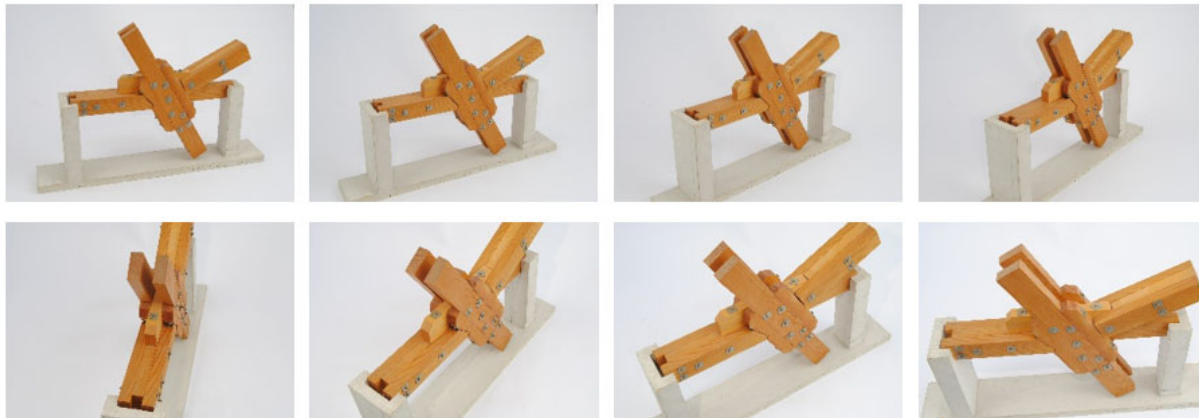
Folgende Kriterien wurden bei der Fotoserie berücksichtigt (Chizhova et al., n.d.):

- Hohe gegenseitige Bildüberlappung für sichere Messung und Zuordnung von Verknüpfungspunkten (feature points);
- Kombination von Senkrecht- und Schrägaufnahmen für optimale geometrische Schnittbedingungen;
- Kombination von Detailaufnahmen (Handfotos aus naher Entfernung) und Standardaufnahmen (2-4 m über ein Stativ) zur Erzielung einer hohen Objektauflösung bei gleichzeitig großer Objektdeckung;
- Kleine Blendenöffnung zur Erreichung einer hinreichend großen Schärfentiefe.

Die Dauer der reinen Bildaufnahme betrug pro Objekt ca. eine Stunde.

Eine detaillierte Arbeitsanweisung der einzelnen Parameter für die Aufnahme der Exponate findet sich auf der Website¹.

Stativaufnahmen



Detailaufnahmen



Abbildung 2: Auszug einer Bildserie – Zweigelenk-Rahmenecke

Quelle: Eigene Darstellung

Nach der Aufnahme der Bildserie (Abb. 2) wurden die Bilder in dem Softwareprogramm Photoscan von Agisoft ausgewertet. Dabei werden, wie in Abbildung 3a dargestellt, die Position der einzelnen Bilder in Bezug auf das Exponat zurückgerechnet (Orientierung oder eng. Alignment). Anschließend wird aus den Objektkoordinaten eine Punktwolke generiert (Abb. 3b), die dann wiederum zu einem Flächenmodell vermascht wird (Abb. 3c). Auf dieses Flächenmodell werden dann die Texturen aus den Bilddaten überlagert (Abb. 3d) und man erhält ein realitätsnahes digitales Mock-up des Referenzexponates.

¹ <https://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/fachbereiche/bgg/bauwesen/sammlungen/digitale-holzbaumodelle/>

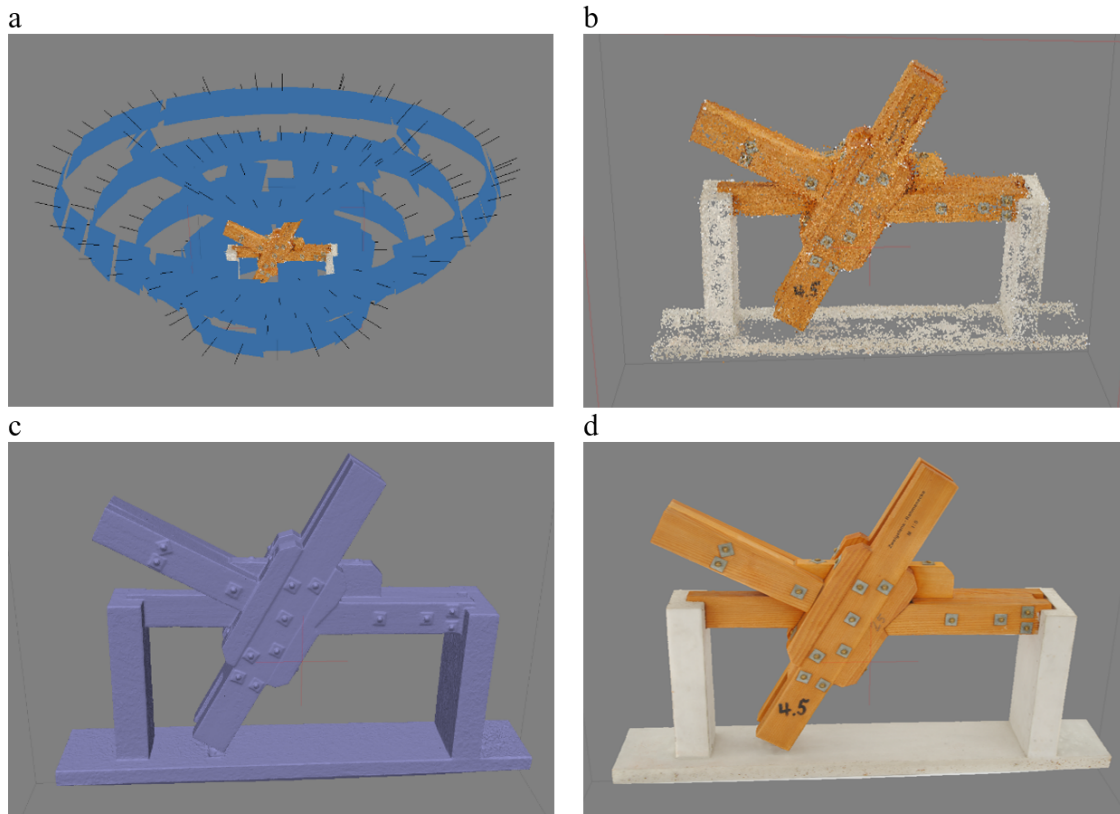


Abbildung 3: Bildserie eines Exponates
Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Mock-up kann anschließend in diversen Formaten ausgegeben werden. Aufbauend auf unsere Anforderung der einfachen und niedrighwelligen Handhabung werden die Modelle als 3D Portable Document Format (PDF) ausgegeben.

2.3 Informations- und Attributbeschreibung

Neben den geometrischen und optischen Informationen werden zu jedem Mock-up zusätzliche alphanummerische Informationen an das geometrische Modell gefügt. Aufbauend auf der 3D PDF Ausgabe werden die alphanummerischen Informationen bzw. weitere Metadaten in einem Textdokument angehängt. Die Informationen sind unter anderem Name, Modellnummer, Baujahr, Materialien und Konstruktionsbeschreibung gespeichert.

3 Modelldatenbank

Resultierend aus den photogrammetrischen Aufnahmen und den Informationen erhält man eine Modelldatenbank mit 26 Modellen. Exemplarisch wurden unterschiedliche Kategorien von Mock-ups nach dem unter Abschnitt 2 beschriebenen Verfahren digitalisiert. Die Konstruktionen und Details sind klar definierbar und die Modellqualität wird den Anforderungen der Lehre gerecht.

2. Dreieckbinder Kantholz - Fachwerkbinder Fußpunkt (1966)

Fußpunkt eines Kantholz-Dreieckbinders mit Stirnversatz und Knagge, Sparren auf Pfette.



Versatz | Auflager oder Fußpunkt | Binder | Knoten

[Download](#)

Abbildung 4: Auszug aus der Datenbank auf der Seite der Jade Hochschule
Quelle: Eigene Darstellung

Der gesamte Datensatz mit allen dazugehörigen Informationen ist auf der Open Science Plattform zenodo.org unter der **DOI 10.5281/zenodo.4244277** abgelegt. Die einzelnen 3D PDF zur Anwendung in der Lehre sind auf der Seite der Jade Hochschule² veröffentlicht.

4 Anwendungsbereiche

4.1 Lehre und Ausbildung

Durch die Aufnahme der Exponate haben Dozierende die Möglichkeit auf einheitliche Mock-up's zu verweisen, die in einer strukturierten und geordneten Form allen Dozierenden zur Verfügung stehen. Es bietet den Studenten die Möglichkeit den Erläuterungen des Dozenten zu den einzelnen Exponaten zu folgen und gleichzeitig zusammen auf ein 3D Modell zu schauen. Dies bietet unter anderem den Vorteil, dass die Studenten alle einen Zugang zu einer ungehinderten Sicht auf das Exponat haben, was bei einer Demonstration an einem Exponat nicht der Fall ist. Die Mock-up's können auch zum Selbststudium verwendet werden und ergänzend können die Exponate auch in der Ausstellung real betrachtet werden. Die Dozenten können in der Vorlesung durch einen Link am Smartboard, im Skript oder in den Begleitmaterialien der Veranstaltung direkt auf das Modell verweisen, was ebenfalls das Selbststudium vereinfacht.

² <https://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/fachbereiche/bgg/bauwesen/sammlungen/digitale-holzbaumodelle/>

Ein wesentlicher Unterschied zu beliebig zusammengestellten Beispielen aus dem Internet besteht in der Homogenität der aufbereiteten Modellsammlung und der wissenschaftlichen Abbildung einer entsprechenden Fachontologie. Durch eine umfassende Recherche konnte keine vergleichbare Sammlung von digitalen Modellen identifiziert werden.

Die Verwendung ist nicht ausschließlich für die interne Nutzung, sondern die Sammlung steht uneingeschränkt auch über das Netz anderen Bildungseinrichtungen zur Verfügung. Ein heterogenes Lernumfeld mit unterschiedlichen Medien erzeugt einen Mehrwert für Dozenten und Studierende (Albuquerque et al., 2019).

Die Methode hat viel Potenzial. Allein in der Jade Hochschule im Fachgebiet Bauwesen Geoinformation Gesundheitstechnologie (BGG) gibt es hunderte von Exponaten die idealerweise in digitaler Form genutzt werden könnten. Eine physische Referenz kann darüber hinaus ebenfalls genutzt werden um eventuelle Funktionalitäten vorzuführen. Der Studiengang des Bauingenieurwesens vermittelt beispielsweise neuen Studenten die Berechnung der Versagenszustände im Stahlbeton. Ergänzend dazu werden Exponate mit unterschiedlichen Versagensformen im Institut für Materialprüfung (IfM) vorgehalten (vgl. Abb.5).



Abbildung 5: Abgedrückte Betonbalken am Institut für Materialprüfung (Jade HS)
Quelle: Eigene Darstellung

Die Exponate sind theoretisch für alle Studierenden zugänglich, dennoch existieren Barrieren sich diese Exponate nach den Vorlesungen anzuschauen. Es ist dem Dozenten an dieser Stelle auch nicht möglich sich die Exponate z.B. im IfM mit 50 Studierenden zu besuchen, da der Umfang für eine Erklärung am Exponat zu groß wäre. An dieser Stelle würde eine digitale Form der Betonbalken eine enorme Transparenz und Diversität in die Lehrveranstaltungen bzw. eine dreidimensionale Betrachtung dieser Mock-up's mit sich bringen.

Auch die Vertiefung von Lerninhalten in einer virtuellen Umgebung oder gemischten Realität sollte dem Kompetenzaufbau neben dem reinen Wissensaufbau vor allem zum Begreifen des Erlernen im sogenannten „Mentalen Modell“ förderlich sein. Dieser Begriff wurde 1983 von P.N. Johnson-Laird geprägt und beschreibt das ideale Abbild eines Sachverhaltes, welcher die Zusammenhänge unter Berücksichtigung aller relevanten Eigenschaften widerspiegelt und zur Problemlösung herangezogen werden kann. Es ist somit naheliegend und in der Zukunft anzustreben, dass eine Erweiterung der Mock-up's in eine virtuelle Realität zum schnelleren Begreifen einer Thematik führen wird (Krischler, 2019).

Die derzeitige Corona-Pandemie hat die Lehre an Hochschulen weltweit beeinflusst. Bisherige Präsenzveranstaltungen mussten von Lehrenden innerhalb kürzester Zeit in ein digitales Format umgewandelt werden (Blömer et al. 2020). Auch der Zugang zu Exponaten oder Materialprüfanstalten wurden massiv

beschränkt, was den Studenten nicht mehr die Möglichkeit gibt sich mit Konstruktionen und Baumaterialien anhand von (realen) Mock-ups vertraut zu machen. Digitale Photogrammetrie Modelle sowie parametrisierte Konstruktions- oder Detailmodelle können hier einen Beitrag leisten um den Studierenden realitätsnahe Konstruktionen und Zustände im Bauwesen näherzubringen.

4.2 Öffentlichkeit

Die Datenbank der Modelle wird nicht nur innerhalb des Hochschulumfeldes zur Verfügung stehen, sondern über die Website der Jade Hochschule³ auch der gesamten Öffentlichkeit. Photogrammetrie trägt dazu bei, öffentliche Kulturdenkmäler und Kunstobjekte zu digitalisieren und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen (Kersten and Lindstaedt, 2017) (Ch'ng et al., 2019). Dabei bieten moderne Visualisierungswerkzeuge vom Smartphone und Tablet bis zu großen 3D-Leinwänden dem Betrachter eine interaktive und detaillierte Darstellung archäologischer Objekte und Exponate in 3D. Mit Hilfe moderner Darstellungsmethoden wie Augmented- und Virtual Reality (AR bzw. VR) können durch photogrammetrische Aufnahmen ganze Museen digital betretbar gemacht werden (Maas et al., 2020). Im Sinne Open Education und Transparenz sollen die Konstruktionsdetails ebenfalls der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, da diese letztendlich auch durch finanzielle Abgaben der Gesellschaft finanziert wurden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieses Artikels erläutern den Nutzen der durch digitale Mock-up's entstanden ist und dessen Anwendung und Potenzial in Lehre und Ausbildung. Die Mock-up's sorgen auch im Bereich der öffentlichen Kulturgüter für Zugang und Transparenz bei der Auseinandersetzung von geschichtlichem Wissen und dessen Archivierung. Die in diesem Paper besprochenen Mock-up's wurden ganz bewusst als Portable Document Format (PDF) veröffentlicht. Auch wenn es keine Garantie für das Fortbestehen dieses Formates gibt, so ist es doch eines der beständigsten Leseformate und als offener Standard in der populären Datenverarbeitung für nicht vertrauliche Dokumente. Die Erzeugung und Nutzung digitaler Mock-up's in der Lehre und Wissensvermittlung im Sinne von Open Education wird in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Auch die Corona Pandemie treibt den Ausbau der digitalen Wissensvermittlung stark voran.

Es bleibt zu untersuchen wie die erzeugten Mock-up's von den Studierenden und Dozenten aufgenommen und genutzt werden, sowie welcher pädagogische Mehrwert sich daraus ergibt. Bei positivem Feedback ist eine Fortführung des Projektes und die weitere Digitalisierung der Exponate an der Jade Hochschule erstrebenswert. Auch die inhärenten Merkmale der Mock-up's sind zu verknüpfen und weiter auszubauen. Eine Möglichkeit wäre die Ontologie der Mock-up's weiter im Gesamtbild eines Gebäudemodells oder einer Konstruktion wie beispielsweise öffentlichen Gebäuden zu verknüpfen, sofern diese über einen digitalen Zwilling verfügen. Die Anwendung der Mock-up's in virtuellen Realitäten könnte sich von hohem Erkenntnisreichtum erweisen und weiteren pädagogischen Mehrwert erzeugen. Ein Ausbau oder gar eine Vereinheitlichung von Mock-up Sammlungen in den unterschiedlichen Bereichen der technischen Ausbildung und des Studiums wäre wünschenswert.

Literatur

Albuquerque, G., Aymans, S.C., Barutcu, M., Becker, S., Binder, F., Bodensiek, O., Boos, M., Brysch, D., Covezzi, G., Dikhoff, I., Ebsen, D., Eckardt, L., Ezat, A., Garmann, R., Gerke, M., Goseberg, N., Gürtler, M., Helmholz, P., Herbstreit, M., Herrmann, C., Hesse, F.W., Heuer, K., Hermann, O., Höwing, F., Huttner, J.-P., Huy, R., Jirschwitz, J., Karaduman, M., Kauffeld, S., König, C., Kühne, M., Langer, S.C., Loviscach, J., Magdowski, M., Magnor, M., Meißner, D., Meyer, F., Meyer, J., Morisse, K., Müller, O., Müller-Frommeyer, L.C., Neumann, Lena, Neumann, Lotte, Nicht, N., Nolte, E., Penrose, V., Perl, A., Peters, M., Pulst, S., Reining, N., Rhein, R., Ring, T.P., Robra-Bissantz, S., Rod, O., Rówert, R., Schlaf, S.P., Sievert, S., Sonntag, D., Spengler, E., Stummeyer, S., Taddicken, M., Tatjes, A., Tegethoff, K., Thiede, B., Wedler, K., Witowski, E., Robra-Bissantz, S., Bott, O.J., Kleinefeld, N., Neu, K., Zickwolf, K.,

³ <https://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/fachbereiche/bgg/bauwesen/sammlungen/digitale-holzbaumodelle/>

- Waxmann Verlag, 2019. Teaching Trends 2018 Die Präsenzhochschule und die digitale Transformation.
- Balletti, C., Ballarin, M., Guerra, F., 2017. 3D printing: State of the art and future perspectives. *J. Cult. Herit.* 26, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>
- Blömer, Linda; Voigt, Christin; Hoppe, Uwe (2020): Corona-Pandemie als Treiber digitaler Hochschullehre. In: (*Keine Angabe*). Online verfügbar unter <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/34181>.
- Carnevali, L., Ippoliti, E., Lanfranchi, F., Menconero, S., Russo, M., Russo, V., 2018. CLOSE-RANGE MINI-UAVS PHOTOGRAMMETRY FOR ARCHITECTURE SURVEY. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLII-2, 217–224. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-217-2018>
- Chizhova, M., Luhmann, T., Jepping, A., Hastedt, H., n.d. Vergleichende Analyse von Photogrammetrie und Laserscanning zur 3D-Rekonstruktion georgischer Kirchendenkmäler 14.
- Ch’ng, E., Cai, S., Zhang, T.E., Leow, F.-T., 2019. Crowdsourcing 3D cultural heritage: best practice for mass photogrammetry. *J. Cult. Herit. Manag. Sustain. Dev.* 9, 24–42. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2018-0018>
- Hess, M., Colson, A., Hindmarch, J., 2018. Capacity Building and Knowledge Exchange of Digital Technologies in Cultural Heritage Institutions. *Mus. Int.* 70, 48–61. <https://doi.org/10.1111/muse.12192>
- Hinge, L., Gundorph, J., Ujang, U., Azri, S., Anton, F., Abdul Rahman, A., 2019. COMPARATIVE ANALYSIS OF 3D PHOTOGRAMMETRY MODELING SOFTWARE PACKAGES FOR DRONES SURVEY. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLII-4/W12, 95–100. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-95-2019>
- Kersten, T.P., Lindstaedt, M., 2017. Mit Kamera, Maßstab und Laptop – Best Practice zur Erstellung von 3D-Modellen für eine Museumsausstellung am Beispiel vietnamesischer Kulturobjekte 10.
- Krischler, Judith. (2019). Mixed Reality in der universitären Tragwerkslehre. (Hrsg.): 31. Forum Bauinformatik.
- Maas, Melanie J.; Hughes, Janette M. (2020): Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education. A review of the literature. In: *Technology, Pedagogy and Education* 29 (2), S. 231–249. DOI: 10.1080/1475939X.2020.1737210.
- Ströbel, B., Justice, K., Heethoff, M., n.d. Mikrophotogrammetrie präparierter Insekten 12. (<https://docplayer.org/54118520-Mikrophotogrammetrie-praeparierter-insekten.html>)