Konzeptentwicklung zur automationsgestützten 3D-Digitalisierung kulturhistorisch relevanter Bauten

Thomas WIEMANN, Sven ALBRECHT und Joachim HERTZBERG

Zusammenfassung

In Deutschland existieren viele aus kulturhistorischer Sicht bedeutende Gebäude. Für einen Großteil dieser Gebäude sind keine frei zugänglichen, durch Metadaten erschlossenen Informationen in Form von Bauzeichnungen, Abbildungen oder 3D-Modellen vorhanden. Für den Fall, dass sie doch vorhanden sein sollten, so spiegeln sie selten den aktuellen „Ist-Zustand" der Bauten wieder und sind in der Regel nicht in digitalen Formaten vorhanden, die eine einfache Verbreitung ermöglichen würden. Auf der anderen Seite werden Laserscans häufig erfolgreich dazu verwendet, 3D-Daten von Gebäuden zu erfassen und die gescannten Umgebungen zu digitalisieren.

Ziel des hier skizzierten Konzept-Projekts ist es, Methoden zu entwickeln, um kulturhistorisch bedeutende Gebäude in Form von 3D-Modellen zu digitalisieren und die für Kulturhistoriker interessanten Daten frei zugänglich, dauerhaft, und im Kontext weiterer über die Gebäude vorhandenen digitalen Quellen (Fotos, Pläne) bereitzustellen. Weiterhin sollen diese Methoden soweit automationsgestützt sein, dass sie erlauben, kulturhistorisch interessante Gebäude in großer Zahl „in der Fläche" zu digitalisieren.

1 Hintergrund

Ziel der BMBF-Förderlinie eHeritage (BMBF 2016) ist es, „für die Forschung relevante Objekte des kulturellen Erbes (cultural heritage) in größerem Umfang zu digitalisieren, zu erschließen und der Wissenschaft zugänglich zu machen". Gedacht ist dabei primär an Objekte in Archiven oder Sammlungen. Die kulturhistorische Forschung ist aber ebenso daran interessiert, komplette relevante Gebäude oder Gebäudeensembles digital zugänglich zu haben, aus denen architektonische, technische wie auch gesellschaftshistorische Fakten und Entwicklungen abzulesen sind. Noch viel mehr als bei archivierten Objekten ist bei historischen Gebäuden mit langer Nutzungsdauer, teilweise bis heute, insbesondere die Tatsache interessant, dass diese während ihrer Nutzung und/oder bei Wandel ihrer Nutzung verändert werden, was sich teils in ihrer aktuellen Gestalt, teils in historischen Dokumenten (Pläne, Fotos) niederschlägt.

Digitalisierung kompletter Gebäude mit Hilfe zum Beispiel von 3D-Laserscanning ist keine neue Entwicklung. Es gibt zahlreiche, teilweise bereits lang zurückliegende Beispiele der Aufnahme digitaler 3D-Gebäudemodelle, die dauerhaft der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, wie beispielsweise das Projekt Digital Pantheon in den Jahren 2005-2008[1]. Da es sich bei den Gebäuden dieser Projekte typischerweise um einzelne, im historischen Weltmaßstab herausragende Gebäude handelt, wie zum Beispiel das Pantheon,

[1] Edition Topoi: Digital Pantheon. http://repository.edition-topoi.org/collection/BDPP

kann bei der hoch präzisen und weitgehend vollständigen Digitalisierung ein entsprechend hoher Aufwand getrieben werden. Das verbietet sich in dem Fall, dass „in der Fläche“ eine relativ große Zahl kulturhistorisch interessanter, aber nicht dermaßen einzigartiger Gebäude wie das Pantheon aufgenommen werden soll; solche Gebäude sind aber für die kultur- und gesellschaftshistorische Forschung ebenfalls von hohem Interesse. Weiterhin muss es für solche Gebäude ein Ziel einer Langzeitarchivierung sein, nicht nur vorhandene historische Dokumente zu ihrem Wandel in Gestalt und Nutzung im Kontext ihres 3D-Modells zugänglich zu machen, sondern das Modell ausdrücklich dafür offen zu halten, den für die Zukunft weiter absehbaren Wandel kontinuierlich dokumentieren zu können. All das impliziert für die Ziele einer Digitalisierung entsprechender historischer Gebäude, dass der Prozess der Digitalisierung kostengünstig zu machen sein muss und dass die langfristig verfügbar zu machenden, durch entsprechende Meta-Daten für die interessierte Forschung zu erschließenden Digitalisate historische Dokumente (Pläne, Fotos) geeignet eingebunden und für Erweiterung durch neue Dokumente offen sein müssen. Die Studie 3DInOS , die derzeit an der Universität Osnabrück in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Informatik du dem Kulturhistorischen Institut durchgeführt wird, hat sich zum Ziel gesetzt, ein Digitalisierungskonzept zu entwickeln, das dieser Situation gerecht wird. Zu einem späteren Zeitpunkt soll dieses Konzept entsprechend umgesetzt werden.

Um die Konzeptentwicklung anwendungsbezogen zu halten und die Vorstellungen, die in ein konkretes Umsetzungsprojekt münden sollen, illustrieren zu können, werden schon in der Konzeptphase reale Scandaten aufgenommen und für den kulturhistorischen Anwendungsfall aufbereitet. Als exemplarisches Gebäude wird hierzu das Haseschachtgebäude der historischen Kohlezeche Piesberg in Osnabrück herangezogen. Aus kulturhistorischer Sicht ist das Haseschachtgebäude aus dem späten 19. Jahrhundert interessant, da es, neben seinem funktionalen Charakter als Gebäude, in dem die Förderanlagen sowie Entwässerungssysteme des Stollens untergebracht waren, auch über eine repräsentative Funktion verfügte, welche in einigen architektonischen Details (beispielsweise Doppelrundbogenfenstern und Gebäudefriesen) zur Geltung kommt. Darüber hinaus war das Haseschachtgebäude aufgrund auftretender Probleme mit dem Grubenwasser schon sehr früh von Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen betroffen, so dass faktisch keine Baupläne des ursprünglich geplanten Gebäudes existieren. Eine existierende Risszeichnung dokumentiert den Gebäudezustand während der 1930er Jahre, aber auch diese spiegelt nur in bestimmten Teilen den jetzigen Zustand der Fassade wider, da beispielsweise ein im der Zeichnung vermerkter Holz-Anbau an einer Gebäudeseite heutzutage nicht mehr existiert.

2 Erstellung eines konsistenten Digitalisats

Aus Sicht der Datenaufnahme mit einem 3D Laserscanner stellt das Gebäude eine anspruchsvolle Aufgabe dar: Neben seiner beträchtlichen Höhe (Dachgiebel in ca. 25m Höhe) über dem ehemaligen Förderschacht ist das Gebäudeinnere teilweise verwinkelt – zum einen aufgrund der bereits erwähnten Umbaumaßnahmen, zum anderen durch seine jetzige Nutzung als Museum für Industriekultur der Stadt Osnabrück. Um höhere Gebäude generell in ihrer Gesamtheit erfassen zu können, wurde bereits während der Konzeption das Scannen von einer Arbeitsbühne aus erprobt (siehe Abbildung 1).

Abb. 1: Erprobung des Scannens von Dachflächen mit Hilfe einer Arbeitsbühne

Zudem ist es aus Sicht der kulturhistorischen Forschung ein wichtiges Ziel, das Gebäude unter Berücksichtigung seines ursprünglichen Zwecks zu digitalisieren, d.h. eine (Teil-) Erfassung des Schachts sowie des jetzt öffentlich zugänglichen Stollens (ca. 300m) ist ebenfalls vorgesehen. Schließlich enthält das Haseschachtgebäude historische Installationen wie eine Dampfmaschine zum Antrieb der Entwässerungspumpen, die geometrisch in sich eine Herausforderung an das 3D-Scannen darstellen. All diese Merkmale des Haseschachtgebäudes zusammengenommen, sind wir überzeugt, dass mit den Problemen, die hier exemplarisch bearbeitet werden müssen, um ein in sich konsistentes Digitalisat in einer für die kulturhistorische Forschung nützlichen Qualität zu schaffen, einen Großteil der potentiell bei der Digitalisierung von Gebäuden auftretenden Probleme abgedeckt wird.

Ein Augenmerk bei der Konzeptentwicklung liegt neben der Aufnahme von präzisen Daten zur Gebäudegeometrie darin, dass diese Aufnahmen möglichst effizient und kostengünstig erfolgen. Das setzt voraus, dass der Scanvorgang von angelerntem Personal vorgenommen werden kann und insbesondere die korrekte Registrierung der Einzelscans zu einer konsistenten Gesamtszene auch von Nicht-Fachleuten umsetzbar sein soll. Dazu werden im Rahmen des Projektes 3DInOS Methoden identifiziert. Aus technischer Sicht interessant ist zudem der Umgang mit Verschattungen an den Gebäuden oder innerhalb der Gebäude, die für den Scanvorgang nicht beseitigt werden können, beispielsweise durch Einrichtungsgegenstände im Gebäudeinneren. Hier soll, soweit möglich, eine plausible Prognose über die nicht erfassten Teile der Gebäudegeometrie gemacht und entsprechend markiert und visualisiert werden. Unter der Voraussetzung, dass es genügend Überlappung zwischen den einzelnen 3D-Scans gibt, lässt sich für die Aufnahmen im Außenbereich sagen, dass die grobe Poseschätzung, welche durch den GPS-Empfänger des Scanners verfügbar ist, ausreicht, um eine zufriedenstellende 6D Registrierung mit frei verfügbaren Softwaretools (3DTK)[2] zu erreichen. Eine Anwendung dieser Verfahren auf großflächigen Arealen wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach erfolgreich demonstriert (BORMANN ET AL. 2008, NÜCHTER ET AL. 2007, SPRICKERHOF ET AL. 2011). Ein exemplarischer Verlauf des Scanmatchings von bereits aufgezeichneten Daten des Haseschachtgebäudes ist in Abbildung 2 dargestellt.

[2] 3DTK – The 3D Toolkit. http://slam6d.sourceforge.net

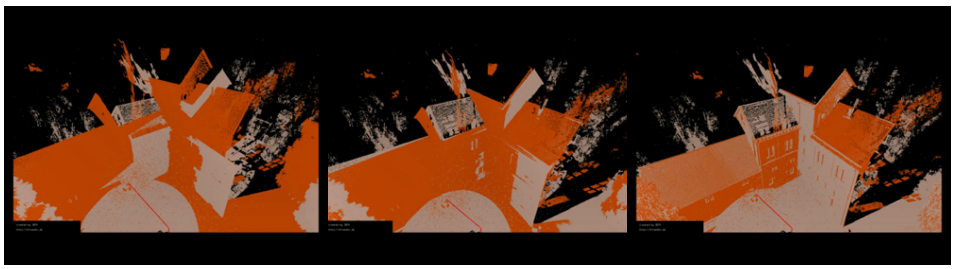

Abb. 2: Automatische Registrierung der Scans der Außenfassade des Haseschachtgebäudes mit slam6d.

Um die Registrierung von Scans aus dem Gebäudeinneren, für welche keine zuverlässigen GPS Daten verfügbar sind, ebenfalls weitgehend zu automatisieren, werden im Verlauf der

Konzeptionsphase bereits einige Techniken erprobt, um automatisiert plausible Initialposeschätzungen für die anschließende Registrierung zu generieren. Eine Vorgehensweise, die evaluiert wird, basiert darauf, die erstellten 3D Daten in ein 2D Graustufenbild zu projizieren (z.B. als Tiefenbild oder über die aufgenommen Reflexionswerte der Scanpunkte) und dann paarweise von konsekutiven Scans Bildfeatures zu errechnen, welche anschließend für eine Initialposebestimmung genutzt werden (HAMIDREZA ET AL. 2015). Unter der Annahme, dass es genügend Überlappung und einen nicht zu erheblichen Poseversatz zwischen konsekutiven Scans gibt, sind die hier publizierten Ergebnisse für den von uns vorgesehenen Anwendungsfalls sehr vielversprechend.

Ein weiteres Problem, für den im Rahmen dieses Projektes eine automatisierte Lösung gefunden werden soll, ist die konsistente Zusammenführung der Scans aus dem Inneren des Gebäudes mit den Aufnahmen der Außenfassade. Automatische Registrierungsverfahren auf ICP-Basis tendieren dazu, die Wände der Innenscans auf die Wände der Außenscans zu ziehen, weil sich in diesem Bereich sehr viele Punkt-Punkt-Korrespondenzen ergeben. Zur Lösung dieses Problems werden gerade zwei Ansätze untersucht: Die Vorregistrierung von Scans, die Bereiche des Innen- und des Außenraums enthalten, mittels Markern und die Klassifizierung von Wandpunkten in die Kategorien „Innenraum“ und „Fassade“. In der Formulierung des Optimierungsproblems im ICP-Algorithmus könnten dann Korrespondenzen zwischen äußerer Wand und innerer Wand verworfen werden. Dazu muss allerdings sichergestellt werden, dass nach der Filterung dieser ungewünschten Korrespondenzen ausreichend viele Strukturen des Innenraums in beiden

Wie oben skizziert, ist es möglich, in einer automatisierten Weise sowohl Scans vom Innenbereich als auch vom Außenbereich eines Gebäudes konsistent zusammenzusetzen. Beide Teilbereiche korrekt miteinander zu registrieren, ist jedoch kein triviales Problem, da bei der Registrierung von Scans mit den auftretenden großen Punktmengen die Gefahr besteht, dass die Messpunkte auf Vorder- und Rückseiten von Wänden im Gebäude zusammengezogen werden, sodass die Wandstärke gegen 0 sinkt. Um in der Konzeptionsphase dieses Problem pragmatisch anzugehen, werden gezielt einige Scans aufgenommen, auf denen sowohl Außen- als auch Innenbereich abgebildet sind. Diese werden dann händisch mit beiden Teilbereichen registriert und können anschließend benutzt werden, um eine global konsistente Punktwolke des Innen- und Außenbereiches zu erstellen.

3 Datenaufbereitung zur Verwendung unter kulturhistorischen Aspekten

Ein wichtiger Bestandteil dieses Projektes ist die semantische Annotation der erfassten 3D-Daten in Form von Meta-Daten, so dass kulturhistorisch relevante Informationen über die Architektur (z.B. die Lage und Größe aller Rundbögen in den Daten) oder Informationen über den Erbauer (unter welchem Architekten wurden wann welche Gebäudeteile hinzugefügt) schnell abgefragt und visualisiert werden können. Auf Seiten der Kulturhistoriker wird hierzu innerhalb des Konzeptionsprojekts ein Glossar mit den aus kulturhistorischer Sicht relevanten Gebäudebestandteilen erstellt und die 3D-Modelle werden exemplarisch händisch annotiert. Es wird Teil der Forschung in einer möglichen Umsetzungsphase sein, Verfahren zur automatischen Unterstützung dieser Annotation zu entwickeln.

Eine komplette Verknüpfung zwischen diesem Glossar und den aufgenommenen Daten ist zwar in der Konzeptionsphase nicht möglich, jedoch wird beispielhaft illustriert, wie, korrektes Annotieren der Daten vorausgesetzt, eine Anfrage verarbeitet wird. Ziel ist es, im nachfolgenden Realisierungsprojekt Anfragen zu bestimmten Architekturelementen (Doppelrundbogen, Gurtgesims etc.) mit dem verwendeten Baumaterial (Kalksandstein, Backstein, etc.) und einer räumlichen Verortung (Deutschland, Osnabrücker Umland, Piesberg) zu verknüpfen und die entsprechenden relevanten Teilmengen von verschiedenen Gebäudedigitalisaten zur Verfügung zu stellen.

Eine Illustration, wie die annotierten Daten visuell markiert werden können, wird in Abbildung 3 gezeigt: Auf die Anfrage nach Doppelrundbogenfenstern im Haseschachtgebäude werden zunächst alle entsprechend annotierten Punkte selektiert und farbig hervorgehoben. Anschließend besteht die Möglichkeit die Objekte einzeln zu inspizieren und die 3D-Punktwolke mit einer Fotografie zu vergleichen.

Ein weiterer wichtiger Punkt, neben der Annotation der aufgenommenen Daten und der Ermöglichung von gezielten Anfragen an die Gesamtdatenmenge, ist die visuelle Darstellung und langfristige Bereitstellung der Daten. Für umfassende kunsthistorische Untersuchungen an bestimmten Teilbereichen eines Gebäudes ist eine bestmögliche Punktdichte und Messgenauigkeit wünschenswert. Dies steht allerdings im Widerspruch zu der Zielsetzung, dass die Daten möglichst schnell und frei zugänglich sein sollen. Deshalb werden innerhalb der Konzeptphase verschiedene Ansätze evaluiert, wie man eine im Datenvolumen reduzierte Darstellung der Gesamtszene erzeugen kann, um diese beispielsweise in einem Webbrowser in Echtzeit visualisieren zu können; die hochaufgelösten Daten würden dann nur auf Anfrage in Teilbereichen oder in ihrer Gesamtheit zur Verfügung gestellt. Neben gängigen Verfahren zur Punktreduzierung mittels Octrees wird auch eine automatisch generierte Mesh-Repräsentation mit entsprechender Texturierung evaluiert.

Um zu verhindern, dass eine folgende Realisierung in einem „Inselprojekt“ mündet, d.h. dass die erstellten und annotierten Digitalisate für die Allgemeinheit nicht sichtbar hinterlegt sind, werden zusammen mit der Universitätsbibliothek Osnabrück Publikationsmöglichkeiten bewertet. Die beinhaltet unter anderem das Erstellen einer GND, sowie die Absprache zur Langzeitarchivierung mit Partnern, die langfristig über die entsprechende Infrastruktur verfügen.

Abb.3: Beispielhafte Inspektion von annotierten Datenpunkten und dazugehörigem Bild.

Wie bereits angeklungen, beschreibt das hier vorliegende Papier ein Projekt zur Konzepterstellung. Um diese möglichst nah an der tatsächlichen Anwendung zu halten, setzen wir uns jedoch auch mit verschiedenen Teilaspekten der Umsetzung auseinander. Innerhalb dieses Rahmen sind bisher 58 3D Scans des Haseschachtgebäudes (Innen- und Außenbereich) und des Stollens aufgenommen, welche ca. 2,3 Mrd. Punkte inklusive Reflexionswerte und Farbinformationen umfassen. Für Teile des Innenbereichs und die Scans im Außenbereich liegt bereits eine zufriedenstellende Registrierung vor (vergleiche Abb. 2), welche als Grundlage für eine geplante Mesherstellung dienen werden.

4 Danksagung

Das Projekt 3DInOs wird als Konzeptentwicklung unterstützt vom BMBF im Rahmen des Programms eHeritage unter dem Förderkennzeichen 01UG1641X.

Literatur

BMBF (2016): *Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Digitalisierung von Objekten des kulturellen Erbes* – eHeritage. 22.6.2016 https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1197.html

Borrmann, D. & Elseberg, J. & Lingemann, K. & Nüchter, A. & Hertzberg, J. (2008). *Globally consistent 3D mapping with scan matching*. Journal of Robotics and Autonomous Systems, 56(2):130-142, 2008,

Nüchter, A. & Lingemann, K. & Hertzberg, J. & Surmann, H. (2007): *6D SLAM -- 3D Mapping Outdoor Environments*. J. Field Robotics, Special. Issue. Quantitative Performance Evaluation of Robotic and Intelligent Systems, 24(8-9):699-722

Sprickerhof, J. & Lingemann, K. & Nüchter, A. & Hertzberg, J. (2011). *A Heuristic Loop Closing Technique for Large-Scale 6D SLAM*. Automatika 52(3):199-222, 2011, Sp. Is. Selected papers from the 4th European Conference on Mobile Robotics

Houshiar, H. & Elseberg, J. & Borrmann, D. & Nüchter, A. (2015): *A Study of Projections for Key Point Based Registration of Panoramic Terrestrial 3D Laser Scans*, J. Geo-spatial Information Science 18(1):11-31

Autoren:

Dr. Thomas Wiemann, Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme, Universität Osnabrück, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, twiemann@informatik.uni-osnabrueck.de

Sven Albrecht, Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme, Universität Osnabrück, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, sven.albrecht@uni-osnabrueck.de

Prof. Dr. Joachim Hertzberg, Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme, Universität Osnabrück, *sowie* DFKI-Robotics Innovation Center, Außenstelle Osnabrück, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, joachim.hertzberg@uni-osnabrueck.de