



Orthodoxe Kirchen

Virtuelle 3D Rekonstruktion aus unvollständigen Punktwolken

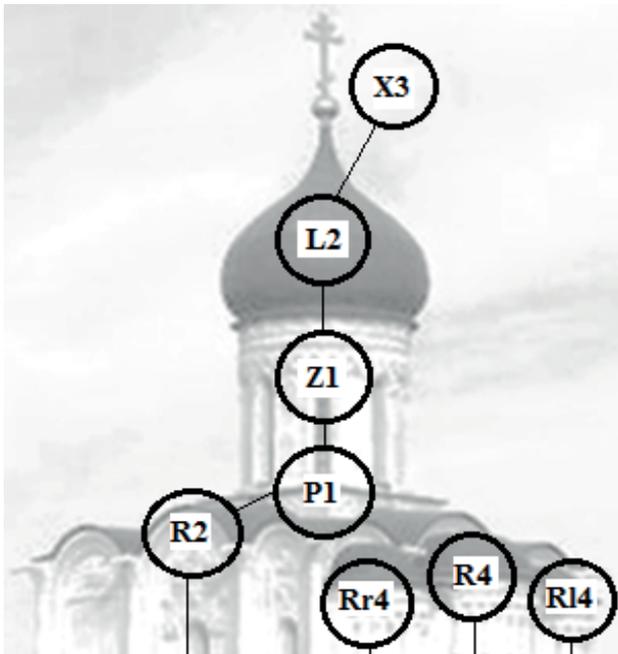


Abb. 1: Pokrova [Chizhova 2019].

Leitung (KDWT): Prof. Dr. Mona Hess

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Uwe Stilla (TU München), Prof. Dr.-Ing. Ansgar Brunn (Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt), Prof. Dr. Thomas Luhmann (Jade Hochschule Oldenburg)

Bearbeitung: Dr.-Ing. Maria Chizhova

Partner: Technische Universität München, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), Jade Hochschule Oldenburg

Laufzeit: 2015–2019

Frau Dipl.-Ing. Maria Chizhova wurde am 26. Juli 2019 an der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität München mit der Arbeit „Virtuelle 3D-Rekonstruktion von zerstörten

russisch-orthodoxen Kirchen aus unvollständigen Punktwolken“ zum Dr.-Ing. promoviert. Die Arbeit wurde von Prof. Dr. Uwe Stilla (TU München), Prof. Dr. Mona Hess (Universität Bamberg), Prof. Dr. Ansgar Brunn (Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt) und Prof. Dr. Thomas Luhmann (Jade Hochschule Oldenburg) betreut.

Das kulturelle Erbe von Völkern ist für die Identität nachfolgender Generationen wichtig und daher auch in geeigneter Weise zu konservieren. Im Laufe der Zeit sind viele Informationen über ehemalige Kulturbauten verloren gegangen, da manche Objekte durch natürliche Verwitterung oder aufgrund menschlichen Wirkens stark beschädigt oder gar zerstört wurden.

Die gegenwärtigen 3D-Erfassungstechniken bieten prinzipiell die Möglichkeit, Oberflächen von Bauwerken in ihrem aktuellen Zustand umfassend aufzunehmen, zu speichern und damit virtuell zu erhalten.

Die Erzeugung von dreidimensionalen Punktwolken und deren automatisierte Weiterverarbeitung ist ein aktuelles Forschungsgebiet mit vielfältigen Anwendungsgebieten. Die in den letzten zwei Jahrzehnten erfolgten Entwicklungen in bildgebenden Verfahren und optischen Vermessungstechniken haben dazu wesentliche Beiträge geleistet, so dass die 3D-Aufnahme von praktisch beliebigen Objekten heute als etablierte Technologie betrachtet werden kann. Dabei wird typischerweise eine unstrukturierte und häufig verrauschte Punktmenge produziert, in der jeder Punkt Informationen über Objektattribute, wie 3D Koordinaten, Normalenvektor, Oberflächenfarbe und Materialeigenschaften, in verschlüsselter Form enthält. Allerdings können die entstehenden Datenmengen die Anwendung von existierenden Verarbeitungsalgorithmen und -methoden wesentlich erschweren, insbesondere wenn die Objekte geometrisch komplexer werden.

Die vollautomatische Weiterverarbeitung dieser Punktwolken zu hochwertigen Endprodukten ist in der Regel noch nicht zufriedenstellend gelöst und hängt stark von den aufgenommenen Objekten selbst, den technischen Möglichkeiten des Aufnahmesystems, dem Wissen über die gesamte Bearbeitungskette und den Anforderungen an das Endprodukt ab. Es ist nach wie vor von hohem wissenschaftlichem und praktischem Interesse,



Abb.2: Beispiel einer zerstörten und danach rekonstruierten russisch-orthodoxen Kirche [www.vidania.ru]

Verfahren zu entwickeln, die aus den Messdaten hochwertige Aussagen über Bedeutung und Zustand der Objekte erlauben.

Die Entwicklungen der letzten zehn Jahre verfolgen im Wesentlichen das Ziel, die Datenvolumina intelligent zu reduzieren und dabei eine optimale Menge von Informationen aus den Punktwolken zu extrahieren. Nach wie vor ist von hohem wissenschaftlichem und praktischem Interesse, Verfahren zu entwickeln, die aus den Messdaten hochwertige Aussagen über Bedeutung und Zustand der Objekte erlauben, d.h. topologische und semantische Informationen zur Erkennung von Objekttypen ableiten. In diesem Kontext spricht man von Interpretation von Punktwolken.

Die Punktwolkeninterpretation stellt eine Herausforderung in der Photogrammetrie wie auch in anderen Disziplinen dar. Offensichtlich ist, dass der Prozess, nützliche Kenntnisse aus einem unstrukturierten Informationsraum (wie es eine Punktwolke ist) zu extrahieren, ein Thema ist, das mehrere Forschungsgebiete verbindet. Entwicklungen, die auf der Analyse solcher Fragen basieren, werden in zahlreichen technischen Disziplinen wie Ingenieurwesen, Maschinenbau, Architektur, Biomedizin und Robotik, aber auch in anderen Gebieten wie Geschichte und Archäologie aktiv vorangetrieben.

Neben zahlreichen anderen Anwendungsbereichen seien hier das in den letzten Jahren in den Fokus gerückte Verfahren des Building Information Modelling (BIM) genannt, in dem ein Teilaspekt der 3D-Erfassung und Modellierung Gegenstand

zahlreicher aktueller Forschungsarbeiten ist. Eine Sonderform des BIM wird derzeit auch im Bereich der Bauforschung und Denkmalpflege entwickelt, die als Heritage oder Historic Building Information Modeling (HBIM) bezeichnet wird. Ziel ist in beiden Fällen die Ableitung relevanter Objektkomponenten in Form digitaler geometrischer Grundelemente, deren semantische Bedeutung und ihrer Beziehungen untereinander. Im Bauwesen stehen dabei im Wesentlichen die Bereitstellung, die Dokumentation und das Management konstruktiver Bauelemente und Installationen im Vordergrund, die mit relativ wenigen geometrischen Daten beschreibbar sind.

Im Bauforschungsbereich treten im Kontext der Gebäudeerfassung, -dokumentation und -untersuchung dagegen viel häufiger auch komplexe Oberflächen auf, die sich nicht durch einfache Regelgeometrien beschreiben lassen. Ziele jenseits der etablierten, klassischen Bauaufnahme sind dabei die Bereitstellung von metrischen 3D-Daten für Restaurierungszwecke, archäologische und historische Forschungen oder virtuelle Rekonstruktionen.

In diesem Zusammenhang wurde die vorliegende Arbeit durch den aktuellen Zustand orthodoxer Kirchen in Russland initiiert, die im 20. Jahrhundert häufig ganz oder teilweise zerstört oder anderen nicht religiösen Nutzungen zugeführt wurden (s. Abb.2). Inzwischen ist von hohem gesellschaftlichen Interesse, zerstörte oder beschädigte Kirchen in Russland möglichst in ihrem Originalzustand wiederherzustellen.

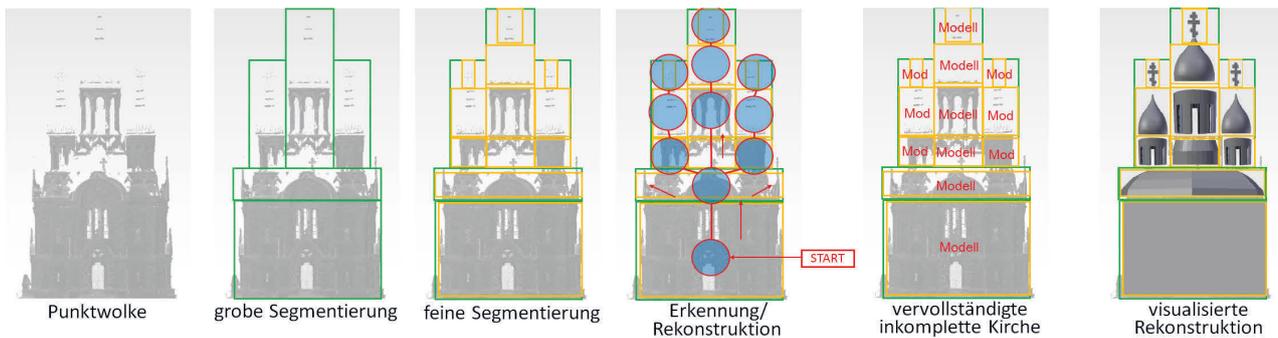


Abb. 3: Ablaufschema des entwickelten Rekonstruktionsalgorithmus [Chizhova 2019].

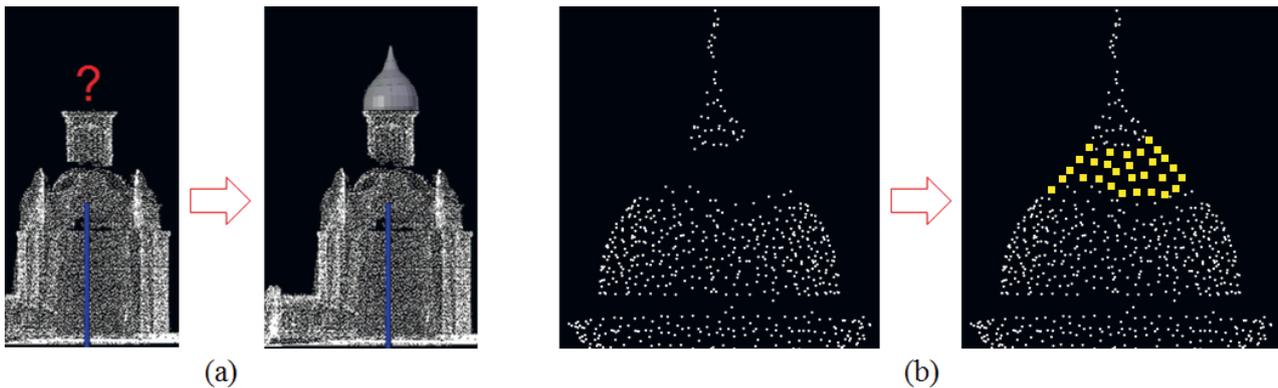


Abb. 4: a - Wiederherstellung, b – Vervollständigung [Chizhova 2019].

Im Bereich der Denkmalpflege wird die Rekonstruktion häufig kritisch angesehen, aber ihre Notwendigkeit für den Spezialfall russisch-orthodoxer Kirchen durch Bürgerinitiativen und gesetzlich bestätigt. Ein Sonderstatus religiöser Objekte wurde im föderalen Gesetz vom 25.06.2002 Nr. 73 „über die Objekte des kulturellen Erbes der Völker Russischer Föderation“ festgelegt, der neben der Übergabe von Kirchen und Sakralbauten der Russisch-Orthodoxen Kirche (erweitert durch das Gesetz vom 03.12.2010 Nr. 327) eine „Rekonstruktion der Bauobjekte“ zum Zweck der „Wiederherstellung verlorener Architekturumgebung“ erlaubt. Für die Wiederherstellung sprechen die staatlichen Initiativen, wie die föderalen Zielprogramme „Kultur des Russlands“ 2006-2011 und 2012-2018.

Daneben ist die Erschließung verloren gegangenen Wissens sowie die Sicherung des kulturellen Erbes in Form virtueller Rekonstruktionen, Modellierungen und Visualisierungen im Kontext der Museumausstellungen und architekturgeschichtlichen Aufbereitung von erheblicher Bedeutung. Die physisch rekonstruierten Kirchen werden in erster Linie aktiv weiter oder erneut als Sakralbauten für die Gottesdienstdurchführung genutzt, d.h. die einfache Konservierung des Status quo ist nicht zielführend. Darüber hinaus ist das Schließen der Gebäudehülle durch moderne

Bauelemente aus Nutzungs- und religiösen Gründen nicht zulässig.

Die Diskussion zur Ethik der Rekonstruktion wurden detailliert dargestellt. Das Problem der virtuellen oder realen Wiederherstellung zerstörter russisch-orthodoxer Kirchen führt im Kontext der oben beschriebenen Erfassung und Analyse räumlicher Punktwolken zu einer interessanten wissenschaftlichen Fragestellung, die im Rahmen dieser Arbeit aufgegriffen und in Teilen gelöst wird. Zielsetzung ist die Realisierung eines automatischen Verfahrens zur Interpretation und Vervollständigung nicht kompletter bzw. lückenhafter Daten von Punktwolken teilweise zerstörter Kirchenobjekte durch ein modellbasiertes Verfahren (s. Abb. 3).

Für die Umsetzung eines regel- oder modellbasierten Rekonstruktionsverfahrens mit dem Ziel der Vervollständigung lückenhafter Daten ist eine semantische Interpretation der aufgenommenen Objektbereiche erforderlich. Beispielsweise ist die Wiederherstellung einer fehlenden Kirchenkuppel nur dann möglich, wenn im Kontext benachbarter Objektelemente eine bestimmte Regelgeometrie erkannt wird und damit das fehlende Objekt geometrisch und semantisch korrekt eingepasst werden kann.

Da sowohl die Messdaten als auch die zugrunde gelegten Datenbanken und Konstruktionsregeln fehlerbehaftet sind, muss das angestrebte Verfahren

auf Basis statistischer Kenngrößen und fehlertoleranter Entscheidungsalgorithmen so robust sein, dass auch bei einem größeren Anteil fehlender Daten in den Punktwolken (z.B. großflächiger Bereiche oder fehlender Objektelemente) und messtechnisch gegebenen Rauschteilen eine verlässliche Objekterkennung und Vervollständigung sichergestellt werden kann (s. Abb. 4).

In der Dissertation wurde die Strategie zur Analyse und Rekonstruktion von unvollständigen und lückenhaften Daten aus Punktwolken auf Basis eines modellbasierten Verfahrens entwickelt. Dieses Verfahren, das zunächst mit einer signifikanten Datenreduktion beginnt, nutzt hierarchische Ansätze zur automatischen Segmentierung, Klassifizierung und Geometrieextraktion von Punktwolken auf Grundlage von Datenbanken vorhandener Objekttypen (Kirchenkonstruktionen) sowie verbindlicher Konstruktionsregeln (Kanons), und vervollständigt dabei unvollständige (zerstörte oder beschädigte) Objekte oder lückenhafte Datensätze. Im vorliegenden Anwendungsfall bzw. in vergleichbaren Szenarien mit komplizierten Objektformen ist das manuelle oder automatisierte digitale Schließen von Lücken in Punktwolken eine komplexe Aufgabe. Je nach geometrischer Komplexität des Objektes können unterschiedliche Erkennungsmethoden erforderlich sein.

In der Arbeit wurden neue Verfahren für spezifische Teilprobleme entwickelt. So sind Methoden, die für die Erkennung von geometrischen Primitiven (z.B. Ebenen, Zylinder) angewendet werden, üblicherweise nicht unmittelbar für die Erkennung von komplexen Geometrien geeignet, die sich durch mehrere Parameter beschreiben lassen bzw. eine Kombination von mehreren geometrischen Primitiven darstellen (s. Abb. 5). Ein anderer Algorithmus dient zur automatischen Bestimmung einer geeigneten Formerkennungsmethode oder das Hashing von Punktwolken (mathematisches Verfahren zur Datenreduktion). Diese werden mit bekannten Methoden der diskreten Mathematik (zelluläre Automaten) und der wahrscheinlichkeitsbasierten Statistik (Bayes-Netze) verknüpft.

Als Gegenstand der experimentellen Untersuchungen werden zerstörte russisch-orthodoxe Kirchen herangezogen, die sich durch regelmäßige Geometrie und Gebäudetypologie auszeichnen. Es ist inzwischen von hohem gesellschaftlichen Interesse, zerstörte oder beschädigte Kirchen in Russland möglichst in ihrem Originalzustand wiederherzustellen.

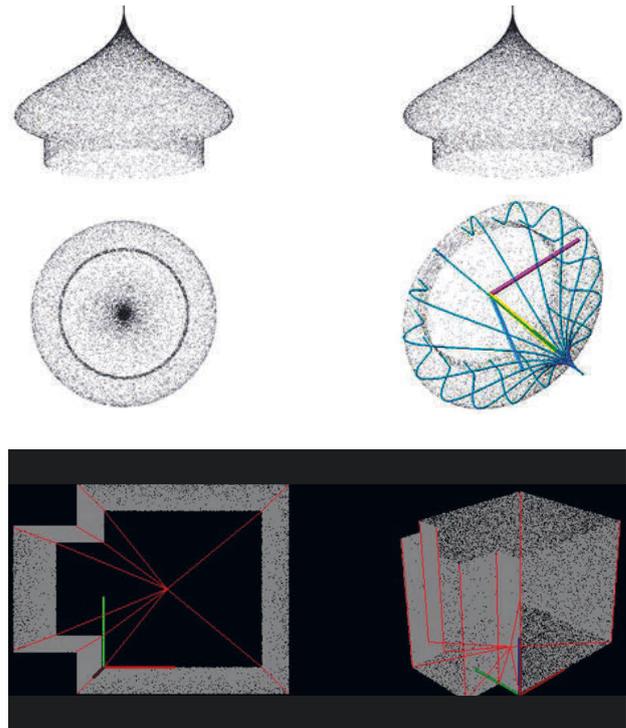


Abb. 5: oben – automatisch rekonstruierte vertikale Profillinie der Kuppel, unten – automatisch erkannte Kantenkonfiguration des Kirchenhaupttraumes [Chizhova 2019].

Das entwickelte Verfahren sowie einzelne Algorithmen werden anhand ausgesuchter Beispiele getestet. Dabei werden die wesentlichen Einflussgrößen (Zerstörungsgrad des Objektes, Vollständigkeit der Punktwolke, Abweichungen von Baukanons) anhand von typischen Szenarien erfolgreich untersucht. Das Verfahren lässt sich grundsätzlich auf andere Anwendungsgebiete erweitern, z.B. Industrieanlagen, zerstörte Gebäude oder BIM. Voraussetzung ist die Erstellung geeigneter Datenbanken mit hinreichender Anzahl von Vergleichsobjekten sowie den zugehörigen semantischen Beschreibungen.

Der vorgestellte Ansatz lässt sich auch umkehren. So kann nicht die virtuelle Rekonstruktion eines (teilweise) zerstörten Objektes im Vordergrund stehen, sondern die Analyse realer Punktwolken auf Vollständigkeit oder die Ermittlung von Veränderungen (change detection) durch den Vergleich von Punktwolken aus unterschiedlichen Zeitperioden.

(Maria Chizhova)

CHIZHOVA, Maria: *Virtuelle 3D-Rekonstruktion von zerstörten russisch-orthodoxen Kirchen aus unvollständigen Punktwolken*, München 2019 (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1484129>).