

3D-Dokumentation des Essener Domschatzes

LENA BANGE¹, JÜRGEN PEIPE² & HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA¹

Zusammenfassung: Der Essener Domschatz enthält eine der wichtigsten Sammlungen mittelalterlicher religiöser Kunst in Deutschland. Er besteht aus etwa 250 Einzelobjekten wie Kreuzen, Schwertern, Kronen, Skulpturen, Manuskripten und Reliquiaren. Diese Kunstwerke sind aus den verschiedensten Materialien hergestellt und sehr unterschiedlich in ihrer Größe, Form und Komplexität. Ihre Erfassung und Modellierung ist eine anspruchsvolle und schwierige Aufgabe. Zum Einsatz kommen optische Messmethoden wie Photogrammetrie, Laserscanning und Streifenprojektionsverfahren. Im Bericht wird der Stand des Projekts aufgezeigt: Die eingesetzten Messsysteme werden beschrieben, Kalibrieraspekte, Genauigkeitsmaße und auftretende Probleme werden genannt, und es werden Ergebnisse, d.h. aufgenommene und modellierte Objekte, vorgestellt.

1 Motivation

Bekanntlich besteht weltweit großer Bedarf an der Erfassung und Dokumentation historischer Kunstobjekte und Ensembles. Neben anderen Methoden können hierfür optische Messtechniken wie Photogrammetrie, Laserscanning und Streifenprojektionsverfahren vorteilhaft eingesetzt werden. Als Beispiel für deren Anwendung wird im Folgenden über die laufenden Arbeiten zur Dokumentation des Essener Domschatzes berichtet.

Die im Dommuseum von Essen zusammengefassten Kunstobjekte bilden eine der wenigen Sammlungen mittelalterlicher religiöser Kunst, die den Lauf der Jahrhunderte weitgehend unbeschadet überstanden haben. Unter den etwa 250 Werken – Kreuze, Schwerter, Kronen, Skulpturen, Manuskripte, Reliquiaren etc. – sind Objekte aus der Ottonischen Epoche von besonderer Bedeutung, z. B. die Otto III. zugeschriebene goldene Kinderkrone, das Theophanu-Evangelium (ein reich verziertes Manuskript aus dem 11. Jahrhundert) und die berühmte Goldene Madonna, die weltweit älteste bekannte Marienfigur (siehe auch Abb. 1 und 2).

Es ist geplant, die wichtigsten Kunstwerke des Domschatzes virtuell zu rekonstruieren und in einem digitalen 3D-Archiv unterschiedlichen Anwendern verfügbar zu machen. In den folgenden Kapiteln werden die eingesetzten Messsysteme mit ihren technischen Spezifikationen genannt, auf Kalibrieraspekte und Schwierigkeiten bei der Objekterfassung wird eingegangen, und es wird der Stand des Projekts erläutert.

¹ Lena Bange & Heinz-Jürgen Przybilla, Fachhochschule Bochum, Fachbereich Vermessungswesen und Geoinformatik, e-mail: heinz-juergen.przybilla@fh-bochum.de

² Jürgen Peipe, Universität der Bundeswehr München, Institut für Photogrammetrie und Kartographie, e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de



Abbildung 1: Otto-Mathilden-Kreuz, Prozessionskreuz aus dem 10. Jahrhundert, aus diversen Materialien, 44.5 cm hoch, 29.5 cm breit.
© Martin Engelbrecht



Abbildung 2: Kinderkrone für Otto III. aus dem 10. Jahrhundert, aus diversen Materialien, z. B. Goldblech, Edelsteinen, Perlen.
© Martin Engelbrecht



Abbildung 3: Streifenprojektionssystem

2 Messsysteme

Als Messwerkzeuge zur geometrischen 3D-Erfassung der Essener Kunstwerke werden hauptsächlich Streifenprojektionssysteme benutzt – zu Beginn des Projekts ein Breuckmann optoTOP HE-600, das zur Digitalisierung der Goldenen Madonna eingesetzt wurde (PEIPE & PRZYBILLA 2005), und seitdem ein Breuckmann triTOS (Abb. 3; BREUCKMANN 2007) zur Aufnahme weiterer Teile des Domschatzes. Letzteres – ein System mittlerer Genauigkeit, die vom Hersteller mit ca. 0.1 - 0.2 mm bei flächenhafter Messung angegeben wird – besteht aus einer mechanisch stabilen Basis, an deren Enden je eine 1.3 Megapixel Kamera und ein Streifenlichtprojektor angebracht sind. Der Triangulationswinkel beträgt 20 Grad. Unterschiedliche Basislängen und Objektive ermöglichen die Aufnahme unterschiedlich großer Objektbereiche (Tab. 1).

Sensormame (Type, #, base length ("L.xx") and FOV diagonal [mm])	Field of view Width X x Height Y / Depth Z [mm]	Projector lens (f[mm])	Camera lens (f[mm])	Aperture of Projector lens	Aperture of Camera lens	Working distance [mm] (Base front – Sensor zero point)
TT685-HE-L050-175	140 x 100 / 90	P17 (12 mm)	C17 (23 mm)	2.8	5.6	390
TT685-HE-L300-325	260 x190 / 180	P32 (17 mm)	C32 (35 mm)	2	2.8-4	1070
TT685-HE-L300-675	560 x 410 / 300	P67 (8 mm)	C67 (17 mm)	1.4-2	2-2.8	1085

Tab. 1: Konfigurationsmöglichkeiten des Breuckmann Streifenprojektionssystems

Auf die Kalibrierung und Genauigkeitsmaße des triTOS-Systems wurde in BANGE et al. (2007) eingegangen. Dort finden sich auch Handhabungshinweise (Länge der Aufwärmphase, mehrfache Durchführung von Kalibriermessungen zur Feststellung der Messbereitschaft etc.).

Die Modellierung der virtuellen Kunstwerke des Domschatzes erfolgt zunächst innerhalb der triTOS Geräte-Software, die anschließende Texturierung und Visualisierung mit Hilfe der Programmpakete RapidForm und Geomagic (INUS 2007, GEOMAGIC 2007). Information für das Aufbringen der Textur liefern Farbaufnahmen mit einer Nikon D2Xs. Im Übrigen soll darauf hingewiesen werden, dass die Vielzahl von 3D-Punktwolken, die mit einem Streifenprojektionssystem erhalten werden, genauigkeitsfördernd mit Hilfe photogrammetrisch bestimmter Referenzpunkte zusammengefügt werden können.

Zu den bisher genannten Messsystemen wird ein Laserscanner hinzukommen. Es handelt sich um den MicroScan Lasersensor, befestigt am MicroScribe Messarm (RSI 2007). Dieses Gerät wird zur Zeit kalibriert und getestet, und wird demnächst bei der Erfassung der Objekte des Essener Domschatzes zum Einsatz kommen.

3 Objektaufnahme

Nach einer Testphase, in der – wie erwähnt – ein 3D-Modell der Goldenen Madonna erzeugt wurde (PEIPE & PRZYBILLA 2005) wurden im nächsten Arbeitsabschnitt die folgenden Kunstwerke aufgenommen (Abb. 4):

- Die *Elfenbeinpyxis* ist eine Dose, in der vermutlich früher Weihrauch aufbewahrt wurde. Sie hat einen elliptischen Grundriss mit 10.4 cm bzw. 12.5 cm Durchmesser und eine Höhe von 8.8 cm. Außen ist die Geburt Christi und die Verkündigung an die Hirten in einer Schnitzerei dargestellt. Sie wurde im 5./6. Jahrhundert im östlichen Mittelmeerraum aus dem leicht ovalen Wurzelbereich des Stoßzahns eines Elefanten hergestellt.
- Der *Ludgeruskelch* wurde im 10. Jahrhundert im Nordwesten des damaligen Reichs erstellt. Er ist 12.2 cm hoch und seine Kupa (oberer Teil des Kelchs) hat einen Durchmesser von 7 cm. Der aus Kupfer gegossene und vergoldete Kelch ist am Fuß und am oberen Rande der Kupa mit lateinischen Inschriften versehen. Die Inschriften reichen jeweils genau einmal um den Kelch herum.
- Das *Zeremonialschwert* der Äbtissinnen des Damenstifts Essen, häufig auch als Richtschwert der Heiligen Cosmas und Damian bezeichnet, stammt aus der Zeit der Ottonen und wurde wahrscheinlich 993 von Kaiser Otto III. dem Damenstift Essen geschenkt. Die Schwertscheide – das eigentliche Messobjekt – besteht im Innern aus Obstbaumholz und ist vollkommen mit Goldplatten besetzt. Diese Goldplatten sind auf Vorder- und Rückseite mit Ranken verziert, in denen bei genauerer Betrachtung teilweise Tiere erkannt werden können. Die Gesamtlänge des Schwertes beträgt ca. 94 cm.



Abbildung 4 : Elfenbeinpyxis (oben), Ludgeruskelch (li.), Zeremonialschwert (re.)

Die Objekterfassung mit dem Streifenprojektionssystem lässt sich in verschiedene Arbeitsschritte gliedern. In Abhängigkeit von Objektgröße und -form ist der Sensor geeignet zu konfigurieren (Tab. 1). Nach der Aufwärmphase des Systems erfolgt – vor der eigentlichen Messung – eine Systemkalibrierung. Nach deren erfolgreichem Abschluss ist das System messbereit. Nachfolgend werden die einzelnen Objektskans erfasst. In der Regel bietet es sich an, die Verknüpfung

der Teilsfans unmittelbar nach ihrer Erfassung durchzuführen. Somit ist gewährleistet, dass eine hinreichende Überlappung der Punktwolken vorliegt. Ausgehend von zu markierenden identischen Objektbereichen erfolgt die Verknüpfung der Scans auf Basis eines konfigurierbaren ICP-Algorithmus (Abb. 5).

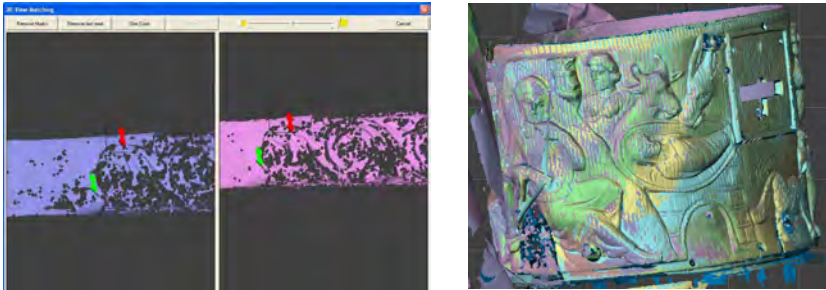


Abbildung 5: Markierung der Teilsfans mit „Fähnchen“ als Vorbereitung einer ICP-Verknüpfung (li); verknüpfte Einzelmodelle (re.).

Die Werke des Essener Domschatzes weisen sehr unterschiedliche Größe, Oberflächenstruktur und Materialien auf. Entsprechend aufwändig gestaltet sich die Messaufnahme, insbesondere führt dies zu einer erhöhten Anzahl von Scans, sowie Schwierigkeiten bei deren Verknüpfung. Besondere Probleme bereiten:

- Glänzende Materialien wie Gold, insbesondere im Hinblick auf auftretende Reflektionen
- Edelsteine (Glaskörper), da diese in der Regel von den Projektionsmustern „durchdrungen“ werden
- Die hohe Komplexität von Oberflächen, einschließlich Hinterschnidungen und Verdeckungen
- Die Verknüpfung von Objekten, die sich aus zwei Seiten zusammensetzen (z. B. das Zeremonialschwert) und somit quasi in zwei Teilobjekte zerfallen

Unter Berücksichtigung der oben genannten Problemstellungen ergaben sich für die drei aktuell erfassten Objekte die in Abbildung 6 und Tabelle 2 aufgeführten Aufnahmesituationen. Dabei ist der örtliche Aufwand für jedes der Objekte mit ca. einem Arbeitstag anzusetzen. Die für eine erfolgreiche Objekttexturierung anzufertigenden Fotos beanspruchen einen zeitlichen Rahmen von weiteren 4 – 8 Stunden.

Für die Messung der Pyxis und des Kelches konnte ein Drehteller vorteilhaft genutzt werden. Hingegen musste das Schwert auf dem Boden liegend gemessen werden, so dass der Sensor über diesem positioniert werden musste. Die Erfassung des Schwertes von der Seite führte zu keinen befriedigenden Ergebnissen, da sich die digitalisierten Punktwolken auf Grund zu geringer Ausdehnung als ungeeignet für eine Verknüpfung darstellten.



Abbildung 6: Objektaufnahme mit dem trITOS-Sensor

	Elfenbeinpyxis	Ludgeruskelch	Zeremonialschwert
Sensorbasis	50 mm	50 mm	300 mm
Aufnahmeentfernung	ca. 400 mm	ca. 400 mm	ca. 1000 mm
Erfassungstiefe	90 mm	90 mm	180 mm
Fester Sensorstandort, Messobjekt auf Drehteller	ja	ja	nein
Anzahl der Scans	35	50	35 pro Seite
Erfassungsdauer	8 h	5 h	7 h
Verknüpfung der Scans mit- tels ICP-Algorithmus	während der örtl. Erfassung	zusätzlich 5 h	zusätzlich 5 h

Tabelle 2: Aufnahmeparameter

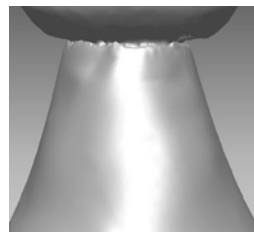
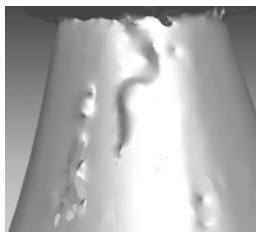


Abbildung 7: Nachbearbeitung durch Füllen von Löchern (links) und Smoothing (Mitte und rechts)

4 Nachbearbeitung der 3D-Punktwolken

Die Nachbearbeitung der Daten dient dazu, Datenmengen zu reduzieren, Löcher zu füllen, die Oberflächen zu bearbeiten (zu glätten) und Texturen aufzubringen (Abb. 7). Diesbezüglich grundsätzlich geeignete Funktionalitäten bieten Programmsysteme wie z. B. RapidForm und Geomagic. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese Systeme ihre Nutzungsschwerpunkte eher in der industriellen Anwendung finden und dementsprechend ausgelegt sind. Kunsthistorische Objekte, wie in den vorliegenden Beispielen mit zum Teil sehr filigranen Oberflächen, führen derartige Systeme an ihre Leistungsgrenzen. Die derzeit vorliegenden Erfahrungen mit dem Rapidform Paket lassen viele Fragen offen, insbesondere zur Parametrisierung der vielfältigen Tools zur Daten-Manipulation. Häufiges „trial and error“ ist gefragt, manches Mal führt ein eher zufällig gewählter Ansatz zum gewünschten Ziel. Die Funktionalitäten zur Objekttexturierung sind davon gleichfalls betroffen. Bei allen drei Objekten erwies sich das Ergebnis der Texturierung als verbesserungswürdig.

Das Texturieren der Pyxis war insofern relativ schwierig, da sie eine sehr ausgeprägte Oberflächenstruktur besitzt und deshalb sehr viele Passpunkte für die Bild-Objektzuweisung benötigt werden. Obwohl nur eine Textur auf das gesamte Objekt aufgelegt wurde (siehe Abb. 4), bei der es eigentlich keine Überschneidungen geben sollte, entstanden weiße Flecken auf der Oberfläche. Diese zeigen Stellen an denen keine Farbinformation enthalten ist. In der aufgelegten Textur gab es jedoch keine Bereiche ohne Farbinformationen. Dieses Problem trat auch bei den übrigen Objekten auf. Es ist demnach weniger ein Problem der Oberflächenstruktur als ein Problem des implementierten Algorithmus. Diesbezüglich sind weitere Untersuchungen notwendig.



Abbildung 8: Elfenbeinpyxis mit Textur

5 Fazit und Ausblick

Das Streifenprojektionssystem triTOS hat seine Eignung für die Dokumentation der im Rahmen dieser Arbeit erfassten kunsthistorischen Objekte bewiesen. Die geometrische Erfassung konnte trotz unterschiedlicher Oberflächengestaltung weitestgehend vollständig erfolgen. Die Messung der Pyxis war problemlos durchführbar, da diese für das Messsystem geeignete Oberflächenei-

genschaften aufweist (die Oberfläche ist matt und hell). Probleme gab es vor allem im Inneren und im Bereich der Hütte, da diese hohl geschnitzt ist und somit nicht von ihrer Innenseite her erfasst werden konnte. Die Gesichter der Figuren sind in den meisten Fällen sehr gut zu erkennen. Der Ludgeruskelch verursachte deutlich höheren Messaufwand. Wegen der vergoldeten Oberfläche gab es starke Reflektionen, wodurch immer nur sehr kleine Bereiche des Objektes erfasst werden konnten (ca. 2 cm breite Streifen). Infolgedessen gab es auch Probleme bei der Verknüpfung, was auf die kaum vorhandene Struktur der Oberfläche zurückzuführen ist. Das Zeremonialschwert erwies sich von der Ober- und Unterseite als gut messbar.

Dringend notwendig sind Untersuchungen zur Weiterverarbeitung der Punktwolken. Die Qualität der Dokumentation – insbesondere in visueller Hinsicht – ist hiervon wesentlich abhängig.

Grundsätzlich dient die Digitalisierung der Kunstwerke des Essener Domschatzes der Unterstützung der Museumsfachleute bei ihrer Arbeit als Forscher und Bewahrer des kulturellen Erbes. Dies umfasst kunsthistorische Studien ebenso wie die Reparatur/Restaurierung einzelner Werke. Darüber hinaus ist geplant, die Ergebnisse der Vermessungen auch den nicht-professionellen Besuchern des Museums zugänglich zu machen - ein virtuelles Museum des Domschatzes soll eingerichtet werden.

6 Literaturverzeichnis

- BANGE, L., 2007: Untersuchungen eines Streifenprojektionssystems zur Dokumentation kunsthistorischer Objekte, Diplomarbeit FH Bochum (unveröffentlicht)
- BANGE, L., PEIPE, J. & PRZYBILLA, H.-J., 2007: Genauigkeitsmaße eines Streifenprojektionssystems zur 3D-Objekterfassung. In: Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Oldenburger 3D-Tage 2007, Wichmann, Heidelberg (im Druck)
- BREUCKMANN, 2007: Produktinformation optoTop & triTOS. www.breuckmann.com (27.04.07)
- GEOMAGIC, 2007: Produktinformation Geomagic. www.geomagic.com (27.04.07)
- INUS TECHNOLOGY, 2007: Produktinformation Rapidform. www.rapidform.com (27.04.07)
- PEIPE, J. & PRZYBILLA, H.-J.: Modeling the Golden Madonna. In: Proc. CIPA 2005 XX Int. Symposium, Turin/Italien, ISSN 1682-1777, 934-936
- RSI GmbH: Produktinformation MicroScribe und MicroScan. www.rsi-gmbh.de und www.microscan-3d.com (27.04.07)