Möglichkeiten für den Einsatz von Reverse Engineering in der Restaurierung[1]

Dr.-Ing. Christine Schöne, Dipl.-Ing. Lothar Paul GfaI Berlin

Einleitung

Der Prozess des Reverse Engineering beschreibt das 3D Digitalisieren von Objekten (u.a. Einsatz von Bildverarbeitung, taktilen Digitalisieren,...), die Aufbereitung dieser Daten zu einer Oberflächenbeschreibung und die Verwendung dieser Beschreibung für die rechnergestützte Herstellung von Duplikaten. Dieses Vorgehen hat sich in zahlreichen technischen Bereichen etablieren können.

Im Bereich der Kunst und Kultur sind repräsentative Anwendungen der Bildverarbeitung für Dokumentations- und Präsentationszwecken bekannt. Der Durchbruch bei der Anwendung fertigungstechnischer Methoden ist für diesen Bereich bisher noch nicht geglückt. Als eine Ursache wird die Vielfältigkeit der Aufgabenstellungen gesehen.

Die Forschungsarbeiten wurden von der AIF (Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V) gefördert. Als Forschungsstellen sind die TU Dresden mit dem Institut für Produktionstechnik und die Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik Berlin beteiligt. Wie Reverse Engineering für die Restaurierung von beschädigten, aber wertvollen Holzfiguren in der Restaurierung genutzt werden kann, soll in diesem Beitrag dargestellt werden.

1. Problemstellung

Es gilt, eine Altarfigur an den zerstörten Stellen in Holz zu restaurieren. Das Objekt (Abb. 1) wurde in Lagerräumen einer Kirche des Landes Sachsen aufgefunden, die Zerstörungen in einem Teilbereich entstanden durch sehr starken Wurmbefall, in der Folge ist die Originalgeometrie des Helmes ist nicht mehr annähernd erhalten. Das fehlende Ergänzungsstück soll durch einen Holzbildhauer / Restaurator manuell modelliert werden.

Dabei ist die formschlüssige Verbindung zwischen Originalfigur und Ergänzungsstück von wesentlicher Bedeutung. Bei dieser Teilaufgabe geht es also nicht um die (fehlende) äußere Geometrie, sondern um die der realen Bruch- bzw. Fraßstelle.

Die gängige Vorgehensweise besteht gegenwärtig darin, den zerstörten Teilbereich in umfangreicher manueller Arbeit mit kleinen Holzstückchen auszulegen und zu verleimen, bis eine annähernd ebene Oberfläche entsteht. Auf die ebene Oberfläche wird dann das Ergänzungsstück angebracht. Dieses Vorgehen ist zeitintensiv und mit

[1] Das Vorhaben 8ZBR wurde aus Haushaltmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert.

einer dauerhaften Veränderung des Originales verbunden..

Anschließend muß natürlich die Außenkontur des Ergänzungsstückes in die gewünschte Form gebracht, d.h. der zerstörte Helm muss dreidimensional nachgebildet werden. Diese Nachbildung soll aber nach wie vor manuell-künstlerisch erfolgen. Das spezielle Reverse-Engineering-Problem bestand also in der Fertigung einer formschlüssigen Verbindung zwischen Ersatzstück und zu restaurierendem Objekt.

2. Realisierte Prozesskette

Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Hochschule für bildende Künste Dresden, wo sich die betreffenden Altarfragmente zu Restaurationszwecken befinden. Ein Transport oder aufwendige Umpositionierungen des Objekts waren ausgeschlossen. Die berührungslose 3D-Vermessung der Schadstelle erfolgte mit einem in der GFaI entwickelten mobilen Geräteprototyp (Abb. 2) und mittels strukturierter Weißlichtprojektion (Kodiertes Licht) aus mehreren Positionen. Nähere Angaben und Informationen zu dieser Erfassungstechnik sind u.a. in [GFCB] verfügbar. Zusammen mit dem Objekt wurden dabei kugelförmige Paßmarken dreidimensional erfaßt, die anschließend zur Zusammenführung der Einzeldatensätze dienten (Abb. 3).

Abb. 2:
Mobiler GfaI-3D-Scanner bei Messungen in der Hochschule für Künste Dresden

In anschließenden Schritten der Verarbeitung der Meßdaten (Punkt- bzw. Koordinatenwolken) wurde neben dem Matching der Einzeldatensätze eine Datenreduktion und -filterung ausgeführt und anschließend eine Oberflächenbeschreibung in Form eines engmaschigen Dreiecksnetzes berechnet. Eine Beschreibung der Schadfläche durch Splines (polynomiale Flächenbeschreibung) erschien aufgrund ihrer sehr starken Strukturierung nicht sinnvoll. Das berechnete Dreiecksnetz (Mesh) wurde dann in STL-Format für die Maschinenprogrammierung an der TU Dresden zur Verfügung gestellt.

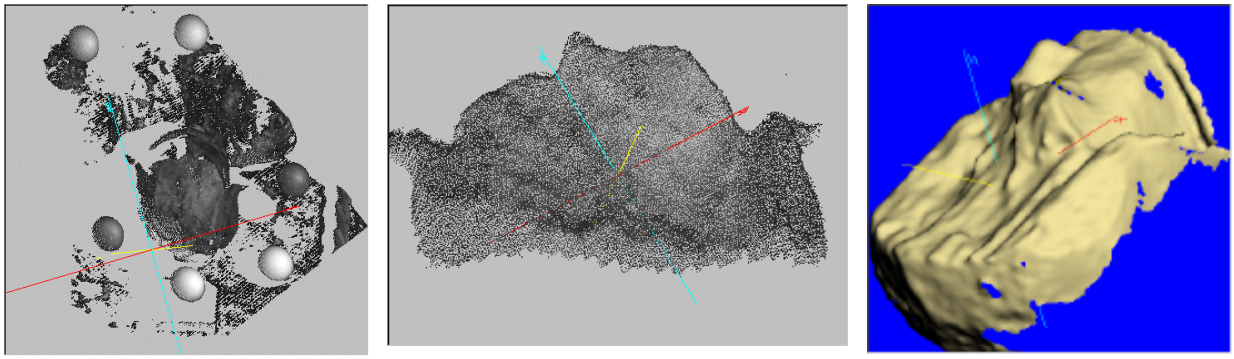
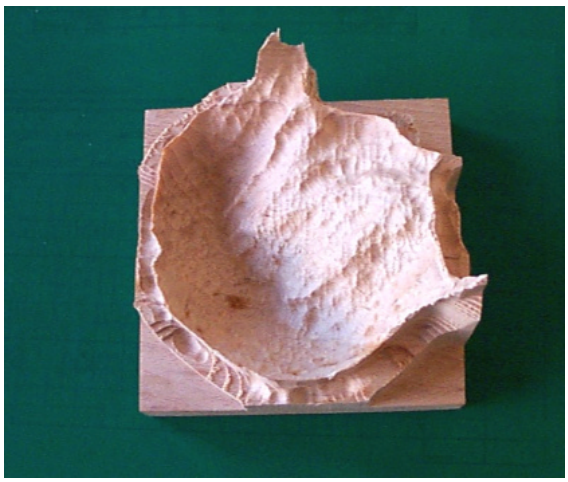


Abb. 3:
Verarbeitungsschritte: vereinigte 3D-Rohdatensätze mit Paßmarken, resultierende Punktwolke und erste Flächenrekonstruktion

Für die weitere Nutzung im Sinne des Reverse-Engineering werden an die Oberflächenrepräsentationen besondere Anforderungen gestellt. Insbesondere dürfen diese keine Inkonsistenzen oder auch kleinste "Löcher" aufweisen. Im Rahmen des zugrundeliegenden Forschungsprojektes wurden deshalb in den beteiligten Forschungsstellen Arbeiten zur Vervollkommnung des Algorithmenpools für die automatische Generierung von Dreiecks-Netzen wesentlich vorangetrieben, insbesondere durch die Untersuchung von anwendungsspezifischen Alternativen zu den üblichen modifizierten Delaunay-Tesselation-Verfahren sowie durch die Entwicklung spezieller 3D-Filteroperatoren zur Vorverarbeitung und Aufbereitung hochdichter 3D-Datensätze. Hierzu wird u.a. verwiesen wird auf ein alternatives Modellierungsverfahren, das eine a-priori geschlossene Oberfläche auch bei real vorhandenen lokalen Datenausfällen generiert [GFA-01] sowie auf die geschaffenen Möglichkeiten zur Modellierung konvexer Hüllen aus rudimentären Daten. Beide Techniken eignen sich zur effektiven Herstellung optimierte Grobvorlagen mittels Reverse-Engineering-Techniken, die dann für die künstlerisch-manuelle Weiterbearbeitung genutzt werden können.
Für den hier vorgestellten Einsatzfall wurden die so bearbeiteten Originaldaten räumlich gespiegelt, um zur Fertigungsvorschrift für die Negativform zu gelangen. Die spiegelbildliche Einpassfläche am Ergänzungsstück wurde im Institut für Produktionstechnik der TU Dresden gefertigt (Abb. 4).



Die Fräsbahngenerierung erfolgte auf der Basis der Triangulationsdaten mit Gibcam [GIB-01].

Die Fräsbearbeitung erfolgte auf einer Maschine MAHO800C, zunächst mit einem Werkzeug d=8mm. Eine Verfeinerung der Oberflächenstruktur ist durch die Anwendung eines kleineren Fräserdurchmessers d=2 mm erreichbar.

Für die praktische künstlerische Weiterbearbeitung (Holzbildhauerei) des Ergänzungsstücks, ist noch zusätzlich eine Aufnahmeeinrichtung, z.B. in Plastwerkstoff herzustellen, die die original digitalisierte wurmbefallene Fläche repräsentiert. Dem Restaurator wird für

seine Arbeit damit eine Kopie des Originals und ein bereits eingepaßter Holz-Rohling bereitgestellt, so daß er den Rohling ohne Gefährdung des Originals an dessen Form anpassen kann. Nach Abschluß seiner Arbeiten kann das Ersatzstück dann ohne bleibende Fixierung auf das beschädigte Original aufgesetzt werden.

3. Zeit- und Kostenumfang

Für eine Akzeptanz der dargestellten Prozesskette sind u.a. die Kosten und erforderlichen Zeiten von wesentlicher Bedeutung. Eine Kalkulation muss nun im Nachgang anhand der einzelnen Elemente der Prozesskette erfolgen. Für die Kalkulation der Kosten wurden die in der Branche üblichen Kostensätze angewendet.

Prozess-Schritt	Aktivitäten, Ergebnisse	Angewendete Software	Zeit [min]	Kosten [DM]
1	Digitalisierung mit portabler Scaneinrichtung	KeraScan	300	1000,-
2	Ausdünnen d. Punkte Triangulation	SURFACER	60	100,-
3	NC-Fräsbahngenerierung	GiBcam	60	100,-
4	NC-Fräsbearbeitung auf MAHO800C		120	260,-
			å **540**	å **1460,-**

Zur Problematik der Kosten- und Aufwandseinschätzung ebenso wie generell zur effektiven Gestaltung von Reverse-Engineering Prozessen im Kunst- und Kulturbereich wurde von den beteiligten Forschungsstellen ein Leitfaden herausgegeben, der die geeigneten Verfahren zur Digitalisierung und Reproduktion von Originalen am Beispiel von typischen Prozeßketten einschließlich der Dokumentation möglicher Schwierigkeiten, Limits sowie der zu erwartenden Kosten vorstellt. [AIF-01 (Anlagen)].

Literatur

/GIB-01/ GIB CAD&CAM, Software zur Konstruktion und Fräsbahngenerierung von Werkstücken mit Freiformflächen

/AIF-01/ Schöne, C., Paul, L.: Leitfaden mit prototypischer Erprobung einer Reverse Engineering–CAM–Prozesskette für den Kunst- und Kulturbereich, Abschlussbericht zum AIF Forschungsvorhaben 8ZBR, ZU Dresden, Institut für Produktionstechnik, Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik Berlin, 2001

/GFA-01/ Paul, L.: Competitive Mesh Adaption - alternative Modellierungsalgorithjmen für komplexe Freiformflächen aus Punktwolken, GFaI - Jahresbericht 2000, GFaI e.V. Berlin, 2001

/GFCB/ Haberkorn, P., Paul, L.: Kombinierte 3D-Dokumentation für den Denkmalsschutz, Konferenzband EVA'98 Berlin, 11-13.11.98