



# 3D – DURCHBLICK ODER DATENMÜLL?

Fachtagung an der  
Hochschule für  
Bildende Künste Dresden  
Donnerstag, 01. März bis  
Samstag, 03. März 2018



## Dreidimensionale Scan-Verfahren in der Konservierung/ Restaurierung

## Verband der Restauratoren



## Partner

Hochschule für Bildende Künste  Dresden

## Impressum

Verband der Restauratoren (VDR) e. V.

Haus der Kultur

Weberstraße 61

53113 Bonn

Telefon (02 28) 92 68 97-0

Telefax (02 28) 92 68 97-27

[info@restauratoren.de](mailto:info@restauratoren.de)

[www.restauratoren.de](http://www.restauratoren.de)

**Veranstaltungsorte** Hörsaal, Raum 222  
Hochschule für Bildende Künste (HfBK)  
Güntzstraße 34  
01307 Dresden

**Organisation** Tino Simon, Monika Kammer, Kerstin Riße

**Veranstaltungsteam** Julia Kun, Henrike Steinweg, Stefanie Bründel

**Titel-Gestaltung** Fritjof Wild, Wild GbR [serviervorschlag.de](http://serviervorschlag.de)

**Druck** WIRmachenDRUCK GmbH

**Bildnachweise** Titel: 3D Modell der Stifterfigur Reglindis des Naumberger Meisters, 13. Jh., Naumberger Dom, bearbeitetes Modell der TUM Institut für Baugeschichte, Historische Bauforschung und Denkmalpflege. Alle anderen Fotos stammen, wenn nicht anders angegeben, von den Referenten.

# Inhaltsverzeichnis

VORWORT .....	1
PROGRAMMABLAUF Tag 1 Workshop .....	2
PROGRAMMABLAUF Tag 2 vormittags .....	3
PROGRAMMABLAUF Tag 2 nachmittags .....	4
PROGRAMMABLAUF Tag 3 vormittags .....	5
PROGRAMMABLAUF Tag 3 nachmittags .....	6
ABSTRACTS .....	7
<b>Christian Mulsov</b> .....	8
Thematische Einführung zur 3D Verfahrenstechnik	
<b>Heinrich Piening</b> .....	9
Praxisbeispiele der Bayerischen Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen zu 3D Scanverfahren und zum Rapid Prototyping	
<b>Patrick Lackner</b> .....	10
Das 'Structure from Motion'-Verfahren in der Denkmalpflege	
<b>Tobias Reich, Phillip Atorf, Frank Boochs, Karin Kraus</b> .....	12
Einsatz von Photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning zur Vermessung von oberflächlichen Verwitterungsschäden an Fassadenbaustoffenan	
<b>Anja Cramer, Guido Heinz</b> .....	14
3D-Modelle in der archäologischen Restaurierung und Forschung – Anwendungen im RGZM	
<b>Liane Albrecht, Miriam Braun, Thomas Reuter</b> .....	15
3D - Monitoring in der Nassholzkonservierung	
<b>Amandine Colson</b> .....	16
Monitoring von Verformungsprozessen an archäologischen Schiffen	
<b>Gunnar Siedler, Sebastian Vetter</b> .....	18
Methoden für Die 3D-Dokumentation von Wandmalerei	
<b>Kristina Holl, Max Rahrig</b> .....	20
Monitoring von klimatisch bedingten Bewegungen mit Hilfe des Structured- Light-Scannings am Beispiel der historischen Ausstattung von Schloss Linderhof	

<b>Carolin Heinemann, Christoph Krekel</b> .....	22
3D-Streifenprojektion und Shearographie zur Identifikation und Klassifikation von Veränderungen an Gemälden hervorgerufen durch Transportprozesse	
<b>Stephanie Exner, Christine Schöne</b> .....	24
Effiziente 3D-Digitalisierung von großen Skulpturen: Analyse zweier Praxiseinsätze in der Antikensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden	
<b>Joerg Maxzin</b> .....	26
Lukas aus der Asche – Auferstandenes Kulturerbe aus dem 3D-Labor	
<b>Theresa Bräunig, Joerg Maxzin, Iris Winkelmeier</b> .....	27
Rekonstruktion der Gestaltung eines spätgotischen Kruzifixes aus Lenbachs Schatzkammer mittels 3D-Technik	
<b>Lluïsa Sàrries Zgonc</b> .....	28
Neue Technologien, Neue Werkzeuge: Wiederherstellung nach der Hand des Künstlers bei der Restaurierung von seriellen Skulpturen	
<b>Armgard Schrenk</b> .....	30
Formenanalyse und –vergleich spätgotischer Skulpturen aus Mecklenburg anhand von 3D-Modellen	
<b>Maria Lörzel</b> .....	24
Durch transparente Materialien blicken: Die Möglichkeiten und Grenzen des 3D Scans im Forschungsprojekt „Gläserne Figuren – Ausstellungssikonen des 20. Jahrhunderts“	
<b>Andreas Rentmeister</b> .....	34
Die Rekonstruktion von Felsformationen der Potsdamer Neptungrotte mit Hilfe von 3-D-Modellen	
<b>Gabriele Wagner</b> .....	36
Spurensuche - Werkzeugspuren an den Münzen des hochmittelalterlichen Hacksilberhortfundes von Cortnitz, Lkr. Bautzen	
<b>Johanna Lang, Marcel Bernoteit</b> .....	38
3D-Modellierung und Schadenserfassung an einer anatomischen Wachsfigur: Durchführung, Ergebnisse und Grenzen der angewandten Verfahren für den Einsatz an keroplastischen Bildwerken	
<b>Alexander Gatzsche</b> .....	39
"Denn sie wissen nicht was sie tun" - Sinn und Unsinn in der Anwendung digitaler dreidimensionaler Technologien als Spannungsfeld der Konservierung und Restaurierung	
<b>KONTAKTDATEN</b> .....	40

## VORWORT

Der VDR organisiert vom **01.-03. März 2018** mit freundlicher Unterstützung der Hochschule für Bildende Künste Dresden die **Fachtagung „3D – Durchblick oder Datenmüll? Dreidimensionale Scan-Verfahren in der Konservierung/Restaurierung“ mit Workshop**.

Welche Chancen bietet ein 3D-Modell für die Arbeit der Restauratoren? Oder ersetzen die digitalen Medien unsere Bemühungen um den Erhalt der originalen Substanz?

Diesen Fragen soll im Rahmen einer Fachtagung des VDR mit Unterstützung der HfBK Dresden zur Anwendung von 3D-Verfahren in unserem Berufsfeld nachgegangen werden. In Vorträgen zu den technischen Verfahren selbst werden Vor- und Nachteile bewertet und technische Möglichkeiten ausgelotet. Die unterschiedlichen Einsatzgebiete von der Dokumentation dreidimensionaler Objekte über virtuelle Rekonstruktionen bis hin zum Monitoring sollen anhand erfolgreicher Anwendungen beispielhaft vorgestellt werden.

## PROGRAMMABLAUF Tag 1 Workshop

---

Donnerstag,  
01.03.  
Workshop  
HfBK Dresden

### **3D – Durchblick oder Datenmüll?** **Dreidimensionals Scanverfahren in der Konservierung und Restaurierung**

vormittags

09:00-12:00

3D Erfassung

Workshop Leiter: A. Gatzsche, K. Riße, T. Hackbeil  
*Structure from Motion* Verfahren und Handscanner

nachmittags

13:00-16:00

3D Verarbeitung

Workshop Leiter: G. Siedler

3D Kartierung mit *Metigo Map* und 3D Rekonstruktion

## PROGRAMMABLAUF Tag 2 vormittags

---

Freitag,  
02.03.  
Fachtagung  
**HfBK Dresden**

### **3D – Durchblick oder Datenmüll?** **Dreidimensionals Scanverfahren in der Konservierung und Restaurierung**

- ab 09:00      **Anmeldung Tagungsbüro**
- 10:00          **Begrüßung HfBK Dresden**  
**Begrüßung VDR Präsidium**
- 10:10          **Monika Kammer**  
- zu Anlass, Ziel und Struktur der Tagung
- 10:20          **Christian Mulsow**  
Thematische Einführung zur 3D Verfahrenstechnik
- 10:50          **Heinrich Piening**  
Praxisbeispiele der Bayerischen Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen zu 3D Scanverfahren und zum Rapid Prototyping
- 11:20          **Patrick Lackner**  
Das „Structure from Motion“-Verfahren im Zusammenspiel mit restauratorischen Prozessen
- 11:50          **Tobias Reich, Phillip Atorf, Frank Boochs, Karin Kraus**  
Einsatz von Photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning zur Vermessung von oberfläch- lichen Verwitterungsschäden an Fassadenbau- stoffen
- 12:20          Diskussion
- 12:30          Mittagspause

## PROGRAMMABLAUF Tag 2 nachmittags

---

Freitag,  
02.03.  
Fachtagung  
HfBK Dresden

### **3D – Durchblick oder Datenmüll?** **Dreidimensionals Scanverfahren in der Konservierung und Restaurierung**

**Moderation** Anne Levin

- 13:30** **Anja Cramer, Guido Heinz**  
3D Modelle in der archäologischen Restaurierung und Forschung – Anwendungen im Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz
- 14:00** **Liane Albrecht, Miriam Braun, Thomas Reuter**  
3D Streifenlichtscans in der Nassholzkonservierung
- 14:30** **Amandine Colson**  
Monitoring von Verformungsprozessen archäologischer Schiffe
- 15:00** **Sebastian Vetter, Gunnar Siedler**  
Methoden für die 3D-Dokumentation von Wandmalerei
- 15:30** **Kaffeepause**
- 16:00** **Kristina Holl, Max Rahrig, Katrin Janis**  
Monitoring von klimatisch bedingten Bewegungen mit Hilfe des Structured-Light-Scannings am Beispiel der historischen Ausstattung von Schloss Linderhof
- 16:30** **Carolin Heinemann, Christoph Krekel**  
3D-Streifenprojektion und Shearographie zur Identifikation und Klassifikation von Veränderungen an Gemälden hervorgerufen durch Transportprozesse
- 17:00** **Stephanie Exner, Christine Schöne**  
Effiziente 3D-Digitalisierung von großen Skulpturen: Analyse zweier Praxiseinsätze in der Antikensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden
- 17:30** **Diskussion**
- 18:00** **Come together im Haupttreppenhaus mit Sektempfang**
- 19:00** **Führung in der Antikensammlung Gläsernes Depot, Albertinum, (Stephanie Exner)**

## PROGRAMMABLAUF Tag 3 vormittags

---

Samstag,  
03.03.  
Fachtagung  
**HfBK Dresden**

### **3D – Durchblick oder Datenmüll?** **Dreidimensionals Scanverfahren in der Konservierung und Restaurierung**

- 09:00 Begrüßung **Monika Kammer**  
Moderation **Cornelia Saffarian**
- 09:15 **Joerg Maxzin**  
Lukas aus der Asche – Auferstandenes Kulturerbe aus dem 3D-Labor
- 09:45 **Theresa Bräunig, Joerg Maxzin, Iris Winkelmeyer**  
Rekonstruktion der Gestaltung eines spätgotischen Kruzifixes aus Lenbachs Schatzkammer mittels 3D-Technik
- 10:15 Kaffeepause
- 10:45 **Lluïsa Sàrries Zgonc**  
Neue Technologien, Neue Werkzeuge: Wiederherstellung nach der Hand des Künstlers bei der Restaurierung von seriellen Skulpturen
- 11:15 **Armgard Schrenk**  
Formenanalyse und -vergleich an spätgotischen Skulpturen aus Mecklenburg anhand von 3D-Modellen
- 11:45 **Maria Lörzel**  
Durch transparente Materialien blicken: Die Möglichkeiten und Grenzen des 3D Scans im Forschungsprojekt „Gläserne Figuren – Ausstellungssikonen des 20. Jh.“
- 12:15 **Mittagspause**

## PROGRAMMABLAUF Tag 3 nachmittags

---

Samstag,  
03.03.  
Fachtagung  
HfBK Dresden

### **3D – Durchblick oder Datenmüll?**

#### **Dreidimensionals Scanverfahren in der Konservierung und Restaurierung**

**Moderation** Kerstin Riße

13:45

**Andreas Rentmeister**

Durchblick an der Neptungrotte Potsdam –  
Wie man Felsen spielend leicht aufbaut

14:15

**Gabriele Wagner**

Spurensuche –  
Werkzeugspuren am Schmuck des hochmittelalterlichen  
Hacksilberfundes von Cortnitz, Landkreis Bautzen

14:45

**Johanna Lang, Marcel Bernoteit**

3D-Modellierung und Schadenserfassung an einer anatomischen  
Wachsfigur:  
Durchführung, Ergebnisse und Grenzen der angewandten Verfahren  
für den Einsatz an keroplastischen Bildwerken

15:15

**Alexander Gatzsche**

„Denn sie wissen nicht was sie tun“ –  
Sinn und Unsinn in der Anwendung digitaler dreidimensionaler  
Technologien als Spannungsfeld der Konservierung und  
Restaurierung

15:45

**Abschluss Diskussion**

16:15

**Resümee**

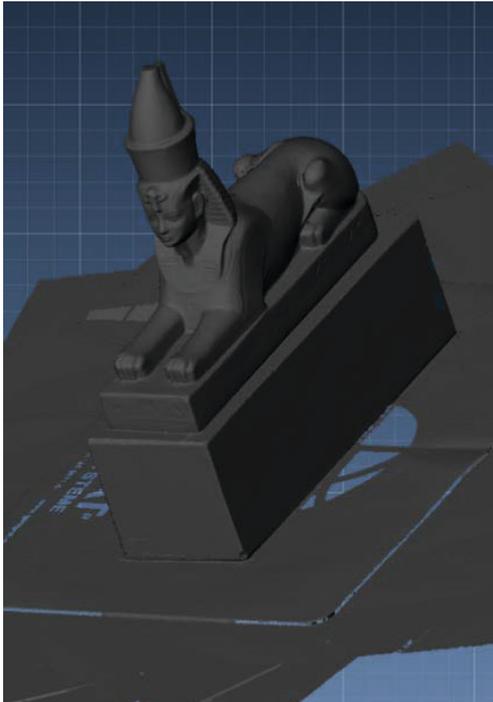
ca. 16:30

**Ende der Veranstaltung**

ABSTRACTS →

# Thematische Einführung zur 3D Verfahrenstechnik

Christian Mulsow



Christian Mulsow

Die optische 3D-Messtechnik ersetzt zunehmend die klassische taktile Messtechnik in vielen Anwendungsfeldern – auch in der Konservierung und Restaurierung. Dem Anwender steht dafür eine Vielzahl von Methoden und Geräten zur Verfügung. Nicht jedes Verfahren eignet sich jedoch für eine konkrete Messaufgabe, sei aus praktischen, finanziellen oder qualitativen Gründen. Der Beitrag versucht eine Übersicht über derzeit verfügbare und anwendbare Methoden der optische 3D-Messtechnik zu geben. Anhand der Parameter Zeit, Bedarf, Aufwand, Kosten, Komplexität, Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Repräsentationsgüte soll dem potentiellen Nutzer ein Leitfaden zur Wahl eines für die jeweilige Messaufgabe geeigneten Verfahrens gegeben werden. Zusätzlich werden zu jeder Methode Beispiel-anwendungen vorgestellt.

# Praxisbeispiele der Bayerischen Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen zu 3D Scanverfahren und zum Rapid Prototyping

Heinrich Piening

Die 3-D Erfassung von Kunstobjekten aus unterschiedlichen Objektrichtungen wie Möbel, Skulpturen oder Räumlichkeiten wird in der Bayerischen Schlösserverwaltung seit dem Jahre 2000 betrieben. Die Ziele der Datenerfassung sind unterschiedlich. Die Daten, unabhängig davon, mit welchen Scannern sie generiert wurden (3-D-Handscanner, Streifenscanner, Tomographen) lassen sich für unterschiedliche Anwendungen aufbereiten. Neben der Aufbereitung von Raumdarstellungen im Internet oder über die Plattform *Bavarikon* werden 3-D-Daten für die Rekonstruktion von Kunstobjekten oder Teilen davon verwendet.



Heinrich Piening

Als sehr hilfreich haben sich Ausführungen im Rapid Prototyping herausgestellt. Mit diesen Verfahren, die üblicherweise in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie verwendet werden, lassen sich Teile in nahezu beliebiger Kleinheit/Größe in unterschiedlichen Materialien wie Kunststoffe, Holz, Metall oder Stein ausführen. Diese Verfahren wurden bei der Bayerischen Schlösserverwaltung im Kollegenkreis anfänglich stark diskutiert, sind jedoch mittlerweile als eine sinnvolle Ergänzung der Arbeitsmöglichkeiten akzeptiert. Der Beitrag zeigt einige Beispiele aus der Praxis, so die Rekonstruktion von kleinen Teilen aus Elfenbein- Lüster oder Großformate wie die Portal-Tore von Schloss Schleißheim.

# Das 'Structure from Motion'-Verfahren in der Denkmalpflege

Patrick Lackner



Architekturbüro Conn und Giersch, 27.07.2017, texturiertes Flächenmodell in der Bestandsaufnahme: Hl. Bischof (um 1430/1440, Künstler unbekannt, gefasste Holzskulptur in St. Lorenz Nürnberg)

Das 3D-Laserscanning beweist bereits seit längerem seinen Nutzen für die Denkmalwissenschaften, obwohl es trotz bewiesener Präzision in Fachkreisen immer noch streng im Diskurs steht. Während für die großflächige Erfassung von Gebäuden oder archäologischen Stätten terrestrische Laserscanner eingesetzt werden, werden im Makro-Bereich hochauflösende 3D-Scanner eingesetzt. Trotz der Ergebnisse

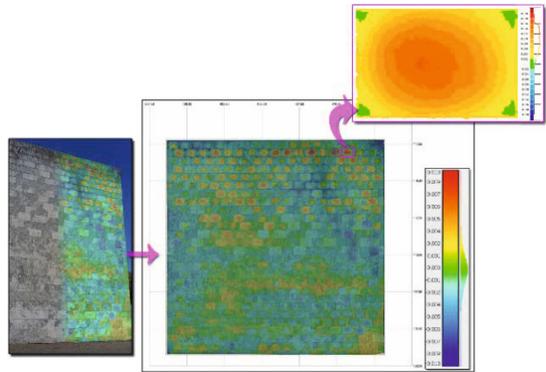
sind die Anschaffungskosten der Geräte und der dazugehörigen Software für die Nutzer oftmals nicht erschwinglich, wobei vielen Kollegen außerdem das fachliche Know-how im Umgang mit 3D-Verfahren fehlt. Eine kostengünstigere Alternative hat sich in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt und zeigt mittlerweile vergleichbare Ergebnisse zu denen eines hochauflösenden 3D-Laserscanners: Das 'Structure from Motion'-Verfahren. Über eine bewegte Bildserie wird ein Objekt mittels einer hochauflösenden Digitalkamera aufgenommen. Die Bilder werden mit Hilfe einer speziellen Software zu einer 3D-Punktwolke und anschließend zu einem 3D-Flächenmodell vermascht, welches mit den Bildinformationen texturiert werden kann. Die qualitativen Unterschiede liegen dabei nicht nur im Softwarebereich, sondern ebenfalls bei der Hardware und dem Know-how. Berechnung und Ergebnis sind abhängig von der eingesetzten Kamera und dem Objektiv sowie dem Bildausschnitt und der Qualität der Aufnahmen. Für dieses, wie auch für andere 3D-Verfahren müssen allerdings klare Grenzen gesteckt und Möglichkeiten getestet werden, in wieweit diese in die Prozesse der restauratorischen Arbeit eingesetzt werden können. Viele Restauratoren arbeiten bereits mit digitalen Kartierungsprogrammen, bei denen 2D bis 3D-Daten als Grundlage eingesetzt werden können. Dabei spielen drei größere Prozesse eine wichtige Rolle. Zum einen die Bestands- und Schadenserfassung, die u.a. an Hand von Bildern und Plänen für die jeweiligen Bereiche angefertigt werden. Das 'Structure from Motion'-Verfahren bietet für diesen Prozess die Möglichkeit große oder kleine Maßstäbe, je nach.

Kameraauflösung, dreidimensional abzubilden und festzuhalten. Anschließend kann entweder am 3D-Modell direkt oder auf Orthophotos des gewünschten Bereiches kartiert werden. Zur Bestandsaufnahme gehören nicht nur Räume oder Wandflächen, sondern ebenfalls mobiles Kulturgut, wie es u.a. im musealen Raum vorhanden ist (z.B. Papier oder archäologische Kleinfunde). Im Maßnahmenprozess bieten 3D-Modelle Möglichkeiten zur digitalen Planung oder Rekonstruktion. In einem weiteren Prozess können mit den 3D-Daten erweiterte Möglichkeiten für die Wartung und Pflege bzw. das Monitoring ausgelotet werden. Letztendlich entscheidet dennoch der einzelne Restaurator über die Anwendung und Nützlichkeit unterstützender 3D-Verfahren in seiner Arbeit. An Hand von Beispielen werden Möglichkeiten der Verwendung in den einzelnen Arbeitsprozessen gezeigt, wobei jedoch auch die Probleme und Grenzen des Verfahrens im Vortrag zur Diskussion stehen werden.

# Einsatz von Photogrammetrie und terrestrischem Laserscanning zur Vermessung von oberflächlichen Verwitterungsschäden an Fassadenbaustoffen

Tobias Reich, Phillip Atorf, Frank Boochs, Karin Kraus

An Fassaden aus Naturstein, Ziegelstein, Putz oder Beton ist die Vermessung von Umfang und Ausmaß oberflächlicher Schäden - wie Rückwitterungen, Abplatzungen, Aufwölbungen oder Verbiegungen - wichtig im Hinblick auf die Festlegung von Restaurierungsmaßnahmen oder die Beurteilung der Verkehrssicherheit. Gängige Praxis ist hier die regelmäßige Inspektion von einem Hubsteiger oder Gerüst aus. Moderne lasergestützte oder optische 3D-Messverfahren



Testfläche am Rathaus mit Visualisierung der Fassadenplattendeformationen in einer Photographie (links); maßstäblicher Orthobildplan mit überlagerter globaler Visualisierung der Plattendeformationen (rechts); lokale Detailvisualisierung der Deformation einer Einzelplatte (oben) / i3mainz

können hier als alternative Anwendung finden. Insbesondere durch den Einsatz von Drohnen zur Fotografie und der dabei anschließenden Auswertung der Fotos mit dem *Structure from Motion* Verfahren (SfM) lassen einerseits oberflächliche Verluste oder Verformungen messtechnisch dokumentieren und über die Zeit beobachten. Andererseits können die Fotos auch zur augenscheinlichen Begutachtung der Materialoberflächen verwendet werden. Eine zeitgleiche Befliegung mit einer Wärmebildkamera könnte zusätzliche Informationen zur Feuchteverteilung oder über Hohlstellen liefern.

## Beispiel Mainzer Rathaus

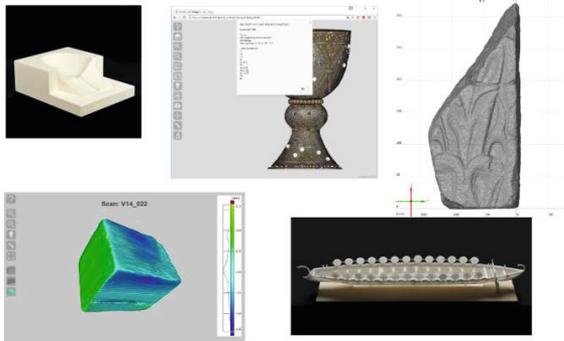
Das Mainzer Rathaus, ein 1973 nach Plänen von Arne Jacobsen fertiggestelltes Bauwerk, hat eine bis zu 30 m hohe vorgehängte Fassade aus norwegischen Porsgrunner Marmor. Durch Einwirkung von Temperatur und Feuchte weisen viele der ca. 55x75 cm großen und nur ca. 3 cm dicken Marmorplatten eine mit dem Alter zunehmende Verbiegung auf, die die Befestigungsanker belastet, bis diese unter ungünstigen Umständen ausbrechen und die Gefahr des Absturzes der Platten besteht. Zur Wahrung der Verkehrssicherheit gibt es bislang regelmäßige Inspektionen und Wartungsarbeiten vom Hubsteiger aus.

Als Alternative zur Sichtprüfung mittels Hubsteiger bieten sich moderne kontaktlose 3D-Messsysteme an. Dazu gehören die UAV-gestützte Photogrammetrie und das

Terrestrische Laserscanning (TLS). Da beide Verfahren unterschiedliche Ansätze zur Erzeugung von 3D-Informationen aufweisen, unterliegen sie unterschiedlichen Charakteristiken, die während der Anwendung des jeweiligen Verfahrens berücksichtigt werden müssen. Dies wird anhand des Fassadenbeispiels durch einen methodischen Vergleich beider Verfahren dargestellt. Beim ersten Verfahren wird ein *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) als Sensorplattform für eine digitale Fotokamera genutzt. Vom Objekt wird ein überlappender Bildverband aufgenommen, der die Grundlage für eine 3D-Rekonstruktion mit der Auswertetechnik SfM bietet. Das Ergebnis der Auswertung ist eine referenzierte 3D-Punktwolke der Fassadenoberfläche. Die Aufnahme der Fassade mittels TLS wurde durch zwei Standpunkte realisiert, wobei das Ergebnis ebenfalls eine referenzierte 3D-Punktwolke der Fassadenoberfläche darstellt. Bei beiden Techniken wurde die Referenzierung der 3D-Daten durch eigenständige tachymetrische Messungen umgesetzt, die zusätzlich auch zur Kontrolle der Messdaten Anwendung finden. Daraus resultieren zwei Messungen mit unterschiedlichen Verfahren der gleichen Problemstellung, die im identischen Koordinatensystem vorliegen und somit untereinander vergleichbar sind. Ziel ist es entsprechende Deformationen der einzelnen Marmorplatten zu detektieren, wobei dies mit beiden Verfahren möglich ist. Die Qualität der 3D-Punktwolke ist im Fall der TLS-Technik wesentlich besser, da hier die 3D-Koordinaten direkt auf der Objektoberfläche gemessen und nicht wie beim alternativen SfM Verfahren rekonstruiert werden. Dies führt unter anderem dazu, dass die Streuung in einigen Bereichen der Punktwolke sehr groß ist. Als Ursache hierfür stellte sich eine ungünstige Anordnung der Kamerastandpunkte heraus. Auch treten globale Deformationen beim SfM Verfahren auf, die die Interpretation der Ergebnisse verfälschen können. Daher soll hier ein Konzept zur richtigen Anwendung der SfM Technik vorgestellt werden, das auch auf weitere Problemstellungen übertragbar ist.

## 3D-Modelle in der archäologischen Restaurierung und Forschung – Anwendungen im RGZM

Anja Cramer, Guido Heinz



RGZM, A. Cramer, G.Heinz, V.Iserhardt

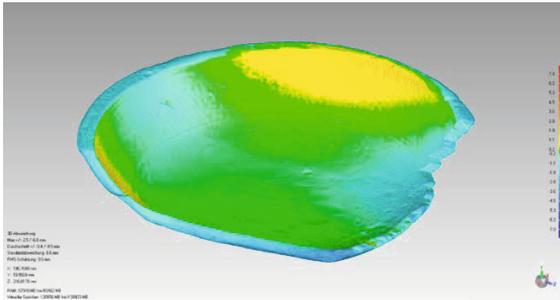
Im Römisch-Germanischen Zentralmuseum in Mainz werden 3D-Daten von archäologischen Objekten und Befunden seit vielen Jahren genutzt. Neben klassischer Nahbereichs-photogrammetrie und 3D-Scanning mit industriellen Streifenlichtprojektionsscannern werden zunehmend auch bildgestützte Verfahren zur 3D-Rekonstruktion (structure from motion) eingesetzt. CT-Scans

werden in Tests eingesetzt, die

Nutzung soll zukünftig ausgeweitet werden. Durch eigenes Fachpersonal im Haus (Vermessungsingenieur) und eine Kooperation mit der Hochschule Mainz zur Nutzung verschiedener Messgeräte können verschiedene Aufgaben mit jeweils geeigneter Technik aufgenommen, prozessiert und zur weiteren Nutzung bereitgestellt werden.

### 3D - Monitoring in der Nassholzkonservierung

Liane Albrecht, Miriam Braun, Thomas Reuter



Seit 2005 werden im Landesamt für Archäologie Sachsen Funde mit hochauflösenden 3D-Scannern digitalisiert (Konica Minolta Laserscanner max. Auflösung von 0,2 mm, seit 2013 Breitscanner smart-SCAN3D-HE-Streifenprojektionsscanner max. Auflösung von 18 µm).

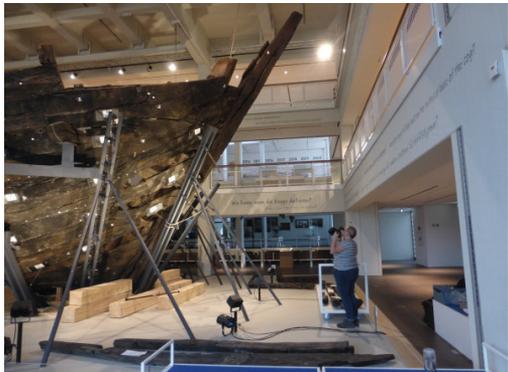
n.n. Bis heute wurden mehr als 17.500 Objekte gescannt. Eine Vielzahl dieser Objekte sind archäologische Nassholzfunde aus dem mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge. Durch die Umweltbedingungen in den Bergwerken sowie die Tatsache, dass die Bergwerke seit ihrer ersten Versiegelung im Mittelalter nie wieder geöffnet wurden, konnten sich über 1000 Holzfunde bis heute erhalten. Für die wissenschaftliche Bearbeitung wurde 2012 das EU geförderte deutsch-tschechische Projekt *ArchaeoMontan* mit einem interdisziplinären Team und dem Landesamt für Archäologie als Leadpartner gegründet.

Durch die zeitliche Begrenzung des Projektes von 2012 bis 2014 und 2016 bis 2018 wurde zur Dokumentation, Bearbeitung und Konservierung der großen Anzahl an Holzfunden eine Prozesskette erarbeitet und etabliert. Die digitale Dokumentation mit 3D-Scans ist im Projekt an mehreren Stellen des Workflows von entscheidender Bedeutung. Die 3D-Digitalisierung ersetzt die fotografische Dokumentation eines jeden Holzfundes und ermöglicht die wissenschaftliche Untersuchung während des langwierigen Konservierungsverfahrens. Dabei können anhand der 3D-Daten z.B. Herstellungsspuren untersucht oder Rekonstruktionen einzelner Objektverbände im Berg mittels 3D-Modellen erstellt werden. Zudem ist durch die 3D-Dokumentation eine Überwachung der Dimensionsstabilität der Holzfunde nach der Vakuumgefriertrocknung möglich und seit 2013 ein fester Bestandteil der Prozesskette. Bis heute wurden mehr als 1000 Holzfunde ausgegraben, dokumentiert und vor der Konservierung digitalisiert. Mit einem weiteren 3D-Scan nach der Trocknung erfolgt die Stabilitätskontrolle der Konservierungsmaßnahmen durch den Vergleich der beiden 3D-Modelle. Erste Auswertungen zeigen durch Abweichungsanalysen detaillierte Volumenstabilitäten oder -veränderungen.

# Monitoring von Verformungsprozessen an archäologischen Schiffen

Amandine Colson

Seit 2014 schaut man sich die *Bremer Kogge* nicht mehr nur auf der Messstange, sondern auch auf dem Bildschirm an. Im Rahmen der Fragestellung, wie um das 24 m lange Schiff des Mittelalters herum ein neues Stützsystem zu entwickeln wäre, ist die Problematik der Verformung am Deutschen Schiffahrtsmuseum (Mitglied der Leibniz Gemeinschaft) zum Thema geworden. Dank der Teilnahme an der sogenannten COSCH (Colour and Space in Cultural Heritage), einer Networking Aktion der europäischen Kommission, wurden verschiedene 3D Verfahren am Schiff angewendet. Unter anderem sind 3D Scanning, Totalstation und Photogrammetrie getestet worden. Das Ziel: Die Entwicklung eines Aufnahmeprotokolls, um Verformungsprozesse berührungsfrei zu überwachen.



Deutsches Schiffahrtsmuseum, 18.12.2017, Photogrammetrische Aufnahme der Bremer Kogge

Die Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der Jade Hochschule in Oldenburg unter der Leitung von Professor Thomas Luhmann hat seit 2016 ermöglicht, die Expertise von der Ingenieurin Heidi Hastedt an Bord zu holen. Die genannte Zielsetzung ist von Konservierungswissenschaftler festgelegt worden und das technische Knowhow wird von Ingenieuren aus der Geodäsie bereitgestellt. Die Klimaüberwachung von musealen Objekten ist heute für jedermann gar keine Frage mehr, aber das dreidimensionale Monitoring von Objekten ist immer noch nicht wirklich in den Workflow integriert.

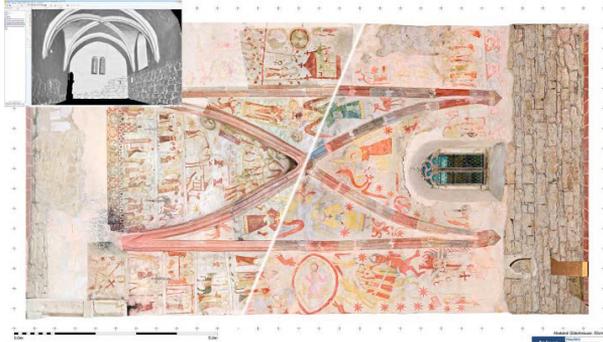
Archäologische Schiffe sind selten gut erhalten und nur wenige von ihnen wurden überhaupt ausgegraben, konserviert und in Museen präsentiert. In der Regel liegen mehrere Jahre zwischen Entdeckung und der Präsentation vor Publikum. Die Konservierungsverfahren von Nassholz sind weltweit standardisiert und die meisten benutzen immer noch das Polyethylenglycol-Verfahren, wie auch an der *Vasa* (Stockholm), an der *Mary-Rose* (Portsmouth) und an der *Bremer Kogge*. Unabhängig von der Behandlung sind Verformungen auf Dauer zu erwarten. In Schweden hat man 1999

angefangen alle sechs Monate das Schiff geometrisch mit einer Totalstation zu vermessen. In England wurde 2013 mit einer ähnlichen Methode vier Mal pro Tag automatisch vermessen. Wenige Museen in Europa haben sich mit der Frage des 3D-Monitorings auseinandergesetzt, obwohl es für große Objekte viel Potenzial enthält.

Dieser Vortrag wird die Anwendung von Verfahren für 3D-Monitoring an archäologischen Schiffen präsentieren, beispielsweise anhand von aktuellen europäischen Initiativen und an der *Bremer Kogge*. Die notwendige Expertise, um solche Projekt durchzuführen, ist genauso Teil der Diskussion wie auch die relevanten Kostenfaktoren.

# Methoden für Die 3D-Dokumentation von Wandmalerei

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter



fokus GmbH Leipzig, Projektbearbeitung 2016, Hauffeld, Kirche  
Digitale Abwicklung mit Orthoprojektion im Maßstab 1:10  
Oben links: 3D-Laserscan, Links: Bildbestand ZIKG, Rechts: Dokumentation 2016

Auf Grund langjähriger Erfahrung in der Dokumentation für die Denkmalpflege und der Softwareentwicklung haben die Autoren das Hintergrundwissen, photogrammetrische Methoden für die Bildauswertung und die digitale Kartierung zu entwickeln.

Die *fokus GmbH* Leipzig war in den vergangenen Jahren an diversen Projekten zur

Dokumentation und Untersuchung mittelalterlicher Wandmalereien speziell in den Bundesländern Baden-Württemberg, Thüringen, Bayern und Sachsen beteiligt.

Ziel der Arbeiten sind dabei hochauflösende, maßstabsgerechte Bildpläne in den Maßstäben 1:5 bis 1:10 bei 400 dpi Auflösung. Dies entspricht einer Detailauflösung im Bild von 0,3-0,6 mm. Die Auswahl der Verfahren von der 2D-Bildentzerrung über 3D-Abwicklung und Orthoprojektion unter Verwendung eines digitalen Oberflächenmodells bis hin zum texturierten Oberflächenmodell erfolgt dabei in Abhängigkeit der Objektgeometrie und der Anforderungen des Restaurierungsprojektes.

Bei gekrümmten Oberflächen (Gewölbe, Apsiden, Vouten), gegliederten bzw. deformierten Oberflächen (Wänden, Decken, Fußböden) ist die Erfassung der Objektoberfläche mittels 3D-Laserscanning bzw. digitaler Photogrammetrie (Structure from Motion, SfM) notwendig. Die Auswahl von Laserscanning oder Photogrammetrie ist abhängig von wirtschaftlicher Effizienz, Objektgröße, Gliederung und Detailstruktur. Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, die an konkreten Projektbeispielen aufgezeigt werden sollen.

Parallel zur 3D-Erfassung der Oberfläche erfolgt die fotografische Dokumentation mit digitaler Mittelformatformatkamera, um die Bildinformation der Objektoberfläche in der gewünschten Auflösung zu erhalten. Häufig werden dazu auch UV-Fluoreszenz-Aufnahmen angefertigt. Wenn vorhanden, erfolgt die Auswertung von historischen Farbdias oder von Aufnahmen vorangegangener Restaurierungsdokumentationen.

Ein Oberflächenmodell, welches über Photogrammetrie aus Bildern generiert wurde, wird mit den verwendeten Bildern automatisch texturiert. Die zusätzlichen Bilder können dann automatisch über Matchingalgorithmen auf die vorhandene Textur des Oberflächenmodells orientiert werden. Bei Verwendung von 3D-Laserscanning werden die Bilddaten wegen der höheren Genauigkeit über tachymetrisch gemessene Passpunkte photogrammetrisch orientiert.

Mit Hilfe des Oberflächenmodells und der orientierten Bilder können Abwicklungen / Orthogonalprojektionen von Gewölbetonnen, Kreuzgewölben oder Wandansichten berechnet werden. Als Ergebnis liegen Mehrebenen-TIF-Dateien vor, die im Photoshop zu einem Bildplan montiert werden. Zusätzliche historische Aufnahmen bzw. UV-Fluoreszenz-Aufnahmen können auf demselben Weg zu deckungsgleichen Bildplänen bearbeitet werden. In Abhängigkeit der Bildgröße und der geforderten Bildauflösung entstehen 2D-Bilddateien von mehreren hundert MB, welche sich für die nachfolgende Kartierung zum heutigen Zeitpunkt nur im 2D effizient auswerten lassen. Bei kleineren Objekten wie dem Iweinkeller in Schmalkalden ist es heute möglich, ein texturiertes Oberflächenmodell mit hinreichender Bildauflösung zu generieren. Dies setzt aber beim Anwender entsprechende Hardware (Grafikkarte) für eine flüssige Auswertung der Daten voraus.

Die Verfahren werden an den mittelalterlichen Wandmalereiprojekten Kirche St. Georg in Oberzell (Insel Reichenau), Kirche Hauffeld und Iweinkeller in Schmalkalden sowie an den Projekten Ludwigskirche München und Pfarrkirche St. Martin (Schwyz, Schweiz) gezeigt.

Auf Grundlage der aktuellen Probleme, die bei der Bearbeitung von 3D-Dokumentationen auftreten, wurde das FuE-Kooperationsprojekt „PROQUATO“ (2016 – 2018) mit dem *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung* der TU Dresden und der *Scan 3D GmbH*, Berlin initiiert. Wesentliche Schwerpunkte des Projektes sind die Erhöhung der Ergebnissenauigkeit durch integrierte Scannerkalibrierung, automatisierte Bildorientierung auf Grundlage von texturierten Oberflächenmodellen, Abbildung verschiedener Bildinhalte auf einem mehrfach texturierten Oberflächenmodell. Zudem erfolgt in Zusammenarbeiten mit Restauratoren aus verschiedenen Fachbereichen die Konzeption und Weiterentwicklung von Abläufen und Werkzeugen für eine effiziente 3D-Kartierung. Aktuelle Ergebnisse aus dem Projekt werden vorgestellt.

# Monitoring von klimatisch bedingten Bewegungen mit Hilfe des Structured-Light-Scannings am Beispiel der historischen Ausstattung von Schloss Linderhof

Kristina Holl, Max Rahrig

Klimaschwankungen umgeben permanent unser Kulturgut und tragen zu dessen Verfall bei. Daher ist die Messung und Dokumentation des Raumklimas seit Jahrzehnten ein wichtiger Standard um Risiken beurteilen zu können. Doch eine Analyse des Raumklimas lässt nur bedingt Aussagen über den Zustand des darin befindlichen Kulturgutes zu. Denn abhängig vom Standort im Raum - ob an einer kalten Außenwand oder in der Raummitte - wie auch von der Gattung, der Erhaltung sowie der klimageschichtlichen Herkunft eines Kunstwerks können sich kurz- oder längerfristige Schwankungen von relativer Luftfeuchte und Temperatur unterschiedlich auswirken.



BSV, 11/2017, Vergleich zweier Streifenlichtscans im Speisezimmer in Schloss Linderhof © Bayerische Schlösserverwaltung

Die Präsentation eines Kunstwerkes in einer temporären Ausstellung oder der Umzug in ein anderes Gebäude (Depot) verändern häufig die bisherigen klimatischen Umgebungsbedingungen und können auch bei einer vermeintlichen Verbesserung des bisherigen Klimas- zu Veränderungen und Schäden führen. Um dies zu vermeiden, ist neben der Klimaaufzeichnung der Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Dokumentation der Erhaltung empfehlenswert.

Die historische Ausstattung in Schloss Linderhof unterliegt aufgrund der hohen Besucherzahlen starken täglichen Klimaschwankungen und einem hohen Feuchteniveau. Als Maßnahme zur Präventiven Konservierung wurde hier eine Lüftungsanlage in Betrieb genommen, die das Raumklima nicht grundlegend auf einen Museumsstandard ändert, sondern den kritischen Bereichen (tägliche Schwankungen

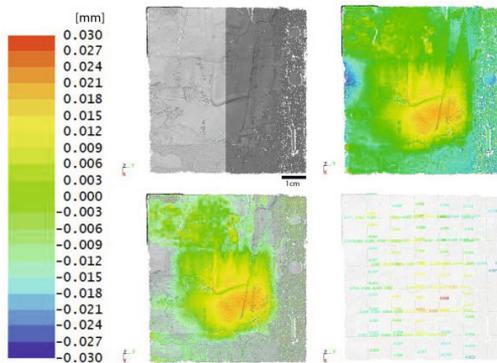
über 15% rF, Schimmelrisiko durch zu hohe relative Feuchte) entgegen wirken soll. Da mit diesem Eingriff eine Änderung der Strömungsverhältnisse zu erwarten ist, wurde die historische Ausstattung vor und nach der Inbetriebnahme konservatorisch begleitet und anhand von exemplarischen Oberflächen untersucht. Im Vorfeld wurden markante Stellen, wie die gefassten Wandflächen neben und gegenüber des künftigen Luftauslasses sowie bereits geschädigte Bereiche ausgewählt. Dort wurden vor der Inbetriebnahme der Lüftungsanlage mit dem Structured-Light-Scanner zu unterschiedlichen Jahreszeiten hochauflösende Vermessungen der Oberflächentopografie angefertigt, um die "natürliche" Bewegung zu dokumentieren. Nach Inbetriebnahme der Lüftungsanlage wurden die Aufnahmen wiederholt und die Bewegung der Oberflächen mit der bisherigen abgeglichen. Es zeigte sich, dass die Methode neben der Darstellung von Bewegungen, die über einen längeren Klimazyklus entstehen (mehrere Tage bis Wochen) auch geeignet ist, quantifizierbare Bewegungen von kurzfristigen (täglichen) Klimaänderungen abzubilden. Hierbei ist es möglich, Bewegungen von unter 0,03 mm zu detektieren und auch die dreidimensionale Bewegungsrichtung exakt zu dokumentieren.

Kombiniert mit der Erfassung des Raumklimas kann ein Monitoring mit dem Streifenlichtscanner Risiken, z.B. ein zu schnelles Absenken der relativen Luftfeuchte aufzeigen, so dass rechtzeitig gegensteuernde Maßnahmen ergriffen werden können.

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojektes "Konservierungs-wissenschaftliche Begleitung einer Maßnahme zur Präventiven Konservierung in Schloss Linderhof" (AZ: 31017) entstanden.

# 3D-Streifenprojektion und Shearographie zur Identifikation und Klassifikation von Veränderungen an Gemälden hervorgerufen durch Transportprozesse

Carolin Heinemann, Christoph Krekel



Carolin Heinemann; Malschichtoberfläche; links oben: Vorzustandsmodell (hell) und Nachzustandsmodell (dunkel); rechts oben: Falschfarbendarstellung der Differenz zwischen Vor- und Nachzustandsmodell; links unten: Verschränkung von Vor- und Nachzustandsmodell mit Falschfarbendarstellung; unten rechts: quantitative Auswertung des Abstandes zwischen Vor- und Nachzustandsmodell. Sensor: COMET 5 11M Eco FOV 80.

Kunsttransporte werden zunehmend unentbehrlich, doch wie und in welchem Maße verändert sich ein Gemälde bei einem solchen Transport? Sind diese transportinduzierten Veränderungen durch einen Vergleich dreidimensionaler Modelle des Vor- und Nachzustandes nachweisbar? Können so Veränderungen detektiert werden, die das menschliche Auge nicht aufzulösen vermag? Das DFG geförderte Kooperationsprojekt "Die materielle Veränderung von Kunst durch Transporte: Untersuchung zu

Detektion und Unterscheidung transport- und alterungsbedingter Schäden an Kunstwerken" analysiert u.a. die Auswirkungen von Transportprozessen auf Gemälde anhand von dreidimensionalen Oberflächenmodellen.

Der Transport von Gemälden kann zu irreversiblen Veränderungen der Originalsubstanz führen. Diese Veränderungen im komplexen Materialgefüge ergeben sich nicht nur aus klimatischen Schwankungen, sondern auch durch Vibrationen und Schockereignisse während des Leihvorganges. Sie sind häufig klein und damit fast unsichtbar, können sich aber im Verlauf mehrerer Transportvorgänge aufsummieren und so deutlich sichtbar werden. Die Quantifizierung von Veränderungen an Gemälden stützt sich bisher auf die subjektive Einschätzung ausgebildeter Restauratoren, die dazu in der Regel digitale Fotografien nebst händischen bzw. computergestützten Kartierungen heranziehen. Allerdings bleiben mikroskopisch kleine Veränderungen bei diesem Vorgehen systematisch unentdeckt, ebenso wie Schäden unter der Oberfläche.

Deshalb stehen zwei Methoden im Fokus der Untersuchung: 3D-Streifenprojektion zur Generierung mikrotopographischer Oberflächeninformationen und Shearographie

zum Nachweis von unter der Oberfläche befindlichen Strukturen. Basierend auf der Idee des VASARI-Projektes (1) werden die durch den Transport herbeigeführten Veränderungen erstmals durch einen teilweise automatisierten Vergleich von hochaufgelösten 3D-Bildern des Vor- und Nachzustandes visualisiert. Diese Daten sollen zur Analyse von Veränderungsprozessen herangezogen werden.

Im ersten Schritt der Erprobung der 3D-Streifenprojektion ging es vornehmlich um Veränderungen, die durch verhältnismäßig geringe Schwankungen der Temperatur und relativen Feuchte (+/- 5% um den mittleren Feuchtigkeitsbereich) hervorgerufen wurden und im Allgemeinen als unbedenklich gelten. Anhand der ersten 3D-Daten wurde deutlich, dass auch geringfügige Schwankungen der Umgebungsbedingungen zu irreversiblen Veränderungen der Malschichten führen können (2). In einem weiteren Schritt werden mögliche Veränderungen, induziert durch reale Transporte, analysiert. Das Hauptinteresse liegt zum einen auf den Kunsttransporten selbst und den damit einhergehenden klimatischen und mechanischen Einflüssen auf die Untersuchungsobjekte. Zum anderen sollen Auswirkungen von fatalen Ereignissen, wie das Kippen einer Kiste etc., analysiert werden. Ziel ist es u.a. aktuelle Standardbedingungen und –prozesse mithilfe von 3D-Modellen zu validieren.

Künftig sollen beide Techniken, die 3D-Streifenprojektion und die Shearografie, bildgebend kombiniert werden. Zusammen mit einer Tageslichtaufnahme wird ein Multilayerbild angestrebt, welches die exakte Verortung von Veränderungen zulässt. Diese Form der Visualisierung entspräche den Sehgewohnheiten von Restauratoren und ermöglichte neben einer bildgebenden Auswertung auch eine exakte Quantifizierung von Veränderungen und ist somit für die konservierungswissenschaftliche Ursachenforschung als auch die Anwendung in der musealen Praxis geeignet.

---

(1) VASARI (Visual Art System for Archiving and Retrieval of Images), The National Gallery London, Doerner Institut München und weitere.

(2) Hein, Niclas; Die materielle Veränderung von Kunst durch Transporte-Monitoring und Transportschadensbewertung an Gemälden durch das Streifenprojektionsverfahren. Dissertation, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Stuttgart, 2015.

# Effiziente 3D-Digitalisierung von großen Skulpturen: Analyse zweier Praxiseinsätze in der Antikensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden

Stephanie Exner, Christine Schöne

Die Skulpturensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden besitzt eine bedeutende Sammlung antiker Skulpturen der römischen Kaiserzeit, angekauft im 18. Jahrhundert in Rom unter August dem Starken. Von besonderem Interesse sind ihre noch in Rom angefertigten bildhauerischen Ergänzungen aus Marmor. Sie wurden im 19. Jahrhundert unter dem damaligen Sammlungsdirektor Georg Treu entfernt, jedoch aufbewahrt und lagern heute im Museumsdepot. Die allgemeine Zielstellung für die 3D-Digitalisierung ist die Dokumentation und digitale 3D-Archivierung sämtlicher erhaltenen Statuen und deren bildhauerischer Ergänzungen (Einzelteile wie Köpfe, Arme, Beine, Finger, Nasen etc.), die virtuelle Rekonstruktion der ergänzten Antiken (Zustand bei Ankauf in die kurfürstliche Sammlung im 18. Jahrhundert), die virtuelle Darstellung der tatsächlich überkommenen antiken Skulpturen-



Stephanie Exner/Staatliche Kunstsammlungen/  
2017

Fragmente sowie die zukünftige Nutzung der 3D-Modelle für virtuelle Restaurierung, kunsttechnologische Untersuchung, Kartierung und Wissensvermittlung.

Durch die exakte Wiedergabe der Oberflächenbeschaffenheit und Farbigkeit der verschiedenen verwendeten Materialien soll eine Dokumentation der derzeitigen Erhaltungszustände der Objekte erfolgen. Im Rahmen der kunstwissenschaftlichen Forschung bietet sich der 3D-Vergleich mit römischen Skulpturen gleichen Typs anderer Museen und Sammlungen an.

In einer 2016 erfolgten Kooperation führte die Technische Universität Dresden, Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD bereits die 3D-Pilotdigitalisierung der antiken Skulptur des Herakles (Inv.-Nr. Hm 092) der Skulpturensammlung mittels Photogrammetrie und 3D-Scanner ATOS II aus. Die Herakles-Statue vom Typus Kopenhagen-Dresden ist eine der restaurierungsbedürftigen antiken Statuen, die zukünftig in der Osthalle des Zwingers

präsentiert werden wird. Das erstellte 3D-Digitalisat soll den beteiligten Wissenschaftlern und Restauratoren die Grundlage bieten, historische Zustände und mögliche Korrekturen virtuell am Computer darzustellen und gemeinsam zu diskutieren.

Für die Erprobung der digitalen Erfassung der vielfältigen bildhauerischen Marmorergänzungen, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Formen andere Anforderungen an die Technik stellen, wurde anhand einer weiteren antiken Frauenstatue (Inv.-Nr. Hm 303) samt derer Ergänzungen der Artec-Handscanner getestet. Im Rahmen einer studentischen Arbeit des Lehrstuhls Konstruktionstechnik/CAD der TU Dresden wurden hierbei die Daten des Handscanners mit einer zuvor getätigten photogrammetrischen Messung von Passpunkten kombiniert als auch alleinig verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass für die 3D-Erfassung eine alleinige Anwendung des Handscanners ausreichend erscheint.

In Zukunft bieten sich durch eine intelligente Verfahrenswahl bei der 3D-Erfassung und Datenaufbereitung vielfältigste Möglichkeiten für die kunsthistorische Forschung, den wissenschaftlichen Austausch, Planungen von Restaurierungen und nicht zuletzt die Vermittlung solchen Wissens an die Öffentlichkeit.

## Lukas aus der Asche – Auferstandenes Kulturerbe aus dem 3D-Labor

Joerg Maxzin



Maxzin, 2013, Momentaufnahme plastischer Ergänzungen im virtuellen Raum.

Sieben Jahre arbeitete das 3D-Labor der Technischen Hochschule Deggendorf unter der Leitung von Prof. Joerg Maxzin in einem Forschungsprojekt an der Ergänzung der teilweise verbrannten Holzskulptur des Heiligen Lukas aus der Münchener Theatinerkirche. In einer ungewöhnlichen Kombination aus traditioneller Bildhauerei und neuen digitalen Technologien wurden fehlende Teile des kostbaren Kulturguts nach historischen Fotografien bis ins Detail rekonstruiert und aus Holz nachgebildet.

## Rekonstruktion der Gestaltung eines spätgotischen Kruzifixes aus Lenbachs Schatzkammer mittels 3D-Technik

Theresa Bräunig, Joerg Maxzin, Iris Winkelmeier

Mit moderner 3D-Technik eröffnen sich neue Möglichkeiten für den Umgang mit Kulturgut. Mit dem hier vorgestellten Projekt des Münchner Lenbachhauses wird ein bedeutendes Beispiel spätmittelalterlicher Kruzifixe gezeigt. Für dessen Präsentation wurden neueste 3D-Verfahren zur Rekonstruktion und Visualisierung fehlender Formelemente und Farbgestaltungen eingesetzt. Das lebensgroße Kruzifix aus Lenbachs Schatzkammer zeigt unübersehbare Spuren einer bewegten Geschichte: Die originale polychrome Fassung ist weitgehend verloren gegangen, womit nicht mehr die Farbe, sondern das Schnitzwerk den Gesamteindruck der Skulptur prägt. Durch eine intensive Untersuchung und Konservierung konnten fragmentarisch erhaltene Farbfassungen eingeordnet werden. Damit wissen wir heute, dass das Kruzifix insgesamt drei Mal überfasst und dabei farbig anders gestaltet war. Im Rahmen einer Kooperation mit der Technischen Hochschule Deggendorf wurde die originale Skulptur gescannt, virtuell teilrekonstruiert und zweimal in verkleinertem Maßstab 3D-gedruckt. Auf diesen Modellen konnten anschließend zwei farbige Fassungen rekonstruiert werden: Die originale, spätmittelalterliche Fassung und die dritte Überfassung. Das Ergebnis des Projekts wird als Sonderausstellung im Lenbachhaus gezeigt und erlaubt die Zusammenschau von Original und Modellen. Im Zusammenhang mit den Rekonstruktionen wird die Bedeutung der Farbgestaltung für die Wirkung des Kruzifixes auf eindrückliche Weise nachvollziehbar.



Städtische Galerie im Lenbachhaus und Kunstbau  
München, Foto: Lenbachhaus / Datum: 29.10.2014 /  
Inhalt: 3D-Druck

# Neue Technologien, Neue Werkzeuge: Wiederherstellung nach der Hand des Künstlers bei der Restaurierung von seriellen Skulpturen

Lluïsa Sàrries Zgonc



1te. Medardo Rosso " Bambino Ebreo" vor der Restaurierung Foto von Jerry L. Thompson 2014 2te. 3-D Kopf, Form und Gipskopf Foto von Nicholas Knight Studio 2017, 3te. Medardo Rosso " Bambino Ebreo" nach der Restaurierung Foto von Lluïsa Sàrries Zgonc 2016

beseitigen und - so treu wie möglich - am Original zu bleiben, ohne die verlorenen Bereiche neu zu erfinden.

In einer Ausstellung in der Galerie Peter Freeman, Inc., New York über den Künstler Rosso, wurde der *McArthur*-Guss neben elf weiteren unbeschädigten Stücken desselben Werkes (in Wachs, Bronze und Gips) gezeigt. Obwohl die *McArthur*-Version in einem sehr schlechten Zustand war, war es dennoch interessant diese zu zeigen, da sie es den Besuchern ermöglichte, einen Teil der Gipsstruktur zu sehen, die normalerweise unter dem Wachs verborgen ist. Die Präsentation so vieler Beispiele der gleichen Rosso-Skulptur in einer Ausstellung, bot eine noch nie dagewesene Gelegenheit für Wissenschaftler und Besucher durch Vergleiche mehr über die Arbeit von Rosso zu erfahren. Von jeder Skulptur wurde ein detaillierter dreidimensionaler Scan angefertigt, so dass wir die Ähnlichkeiten und Unterschiede der seriellen Skulpturen detailliert vergleichen konnten.

Als mir die beschädigte *McArthur*-Version zur Restaurierung angeboten wurde, stellte sich mir die Frage, ob ich diese überhaupt durchführen sollte, angesichts der Zerbrechlichkeit des Materials (Wachs) und der Größe der Verluste. Aber mir wurde schnell deutlich, dass die Verwendung der Scans und der 3D-Technologie einen Weg

Das Thema meines Vortrages ist die Herausforderung, eine beschädigte Wachsskulptur aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert des italienischen Modernisten Medardo Rosso (1858-1928) mit dem Titel *Bambino Ebreo* (auch unter dem Namen *McArthur* bekannt) so zu restaurieren, dass die Schäden nicht mehr sichtbar sind: Die Benutzung des dreidimensionalen Scan-Verfahrens war die einzige Möglichkeit, die Schäden zu

aufzeigte, um die fehlenden Teile der Skulptur so originalgetreu wie möglich zu rekonstruieren und die Restaurierung mit minimaler Intervention zu ermöglichen.

Die *McArthur*-Plastik besteht aus gegossenem Wachs über einem eingefügten Gipskern. Die störendsten Altschäden waren die Wiederherstellung der Nase, sowie der in falschem Winkel angebrachte Kopf. Der Kopf wurde auf einer Metallachse befestigt, was den Schwerpunkt der Skulptur nach vorne verlegte, weshalb sie wohl umkippte. Dies führte dazu, dass das Gesicht stark in Mitleidenschaft gezogen wurde. Hier wurden Nase und Oberlippe stark deformiert. Die Rückseite des Kopfes hatte mehrere fehlende Wachsbereiche, wie auch vermutlich fehlende Gipsteile. An der Vorderseite, im unteren linken Bereich, kam es auch zu einem Verlust. Der linke Teil des Halses wurde verformt und vom Gipskern gelöst, sowie der linke Teil an der Rückseite des Kopfes.

Nachdem ich die dem *McArthur* ähnlichste Ausführung ausgewählt hatte, fertigten wir einen 3D-Kopf in Harz an und machten Formen von jenen Partien, die zur Komplettierung und Wiederherstellung der beschädigten Wachsbereiche der Skulptur notwendig waren. Beraten von einer italienischen Restauratorin, die schon verschiedene Wachsskulpturen von Rosso restauriert hatte und nach einigen Materialproben, wurde über die Zusammensetzung des Wachses entschieden. Die Restaurierung war erfolgreich und nur dank des dreidimensionalen Scan-Verfahrens möglich.

# Formenanalyse und –vergleich spätgotischer Skulpturen aus Mecklenburg anhand von 3D-Modellen

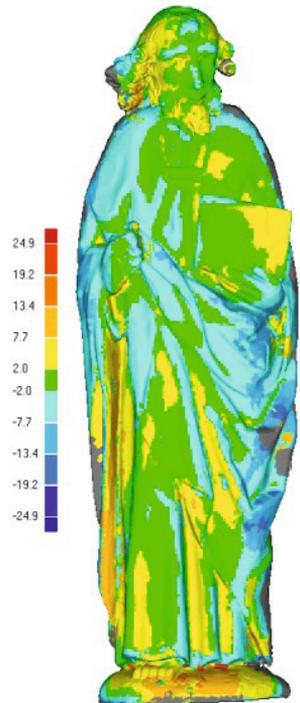
Armgard Schrenk

Der Vortrag soll zeigen, wie sich 3D-Modelle geschnittener polychromierter Skulpturen virtuell vergleichen lassen. Die Methode des virtuellen Formenvergleichs wurde erstmals für Holzskulpturen angewandt und ihre Ergebnisse können nun vorgestellt werden. Die in sich abgeschlossene Studie war Teil meiner laufenden Dissertation „Aus Rostocker Werkstätten? Eine mecklenburgische Retabelgruppe um 1500“ (Arbeitstitel) an der HfBK Dresden und fand 2008 in Zusammenarbeit mit dem *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung* der TU Dresden sowie dem Lehrgebiet *Kunsttechnologie, Strahlenuntersuchung und Fotografie von Kunstwerken* des Studienganges *Kunsttechnologie, Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut* der HfBK Dresden statt. Sie wurde von der *Marlis Kressner Stiftung* finanziert.

Die für den Vergleich untersuchten 40 Apostel- und Heiligenskulpturen stammen aus fünf mecklenburgischen Flügelretabeln. Sie sind einheitlich circa 60 cm groß und weisen bereits augenscheinlich große Übereinstimmungen der geschnitzten Formen auf. Entsprechend ließen sich Gruppen gleicher Skulpturen-Typen definieren. Ziel war es, die offensichtlichen Ähnlichkeiten nicht nur über fotografische Abbildungen, sondern zusätzlich anhand eines rechnerischen Formenvergleichs zu belegen.

Dafür wurden die Skulpturen digital mit dem 3D-Laserscannverfahren MicroScribe/MicroScan-System der Firma RSI vermessen und 3D-Modelle erstellt. Der anschließende Vergleich der 3D-Modelle erfolgte mit dem Programm Geomagic Qualify 10. Die gewonnenen Ergebnisse des Vergleichs liegen als Zahlenwert, als farbkodierte 3D-Darstellung sowie als 2D-Schnitt-Darstellung vor und zeigen anschaulich die Möglichkeiten der angewandten Methode.

In Hinblick auf die tatsächliche Aussagekraft der Ergebnisse müssen sie allerdings äußerst kritisch bewertet werden. Denn im Abgleich mit den Möglichkeiten einer



Armgard Schrenk, 19.01.2011, farbkodierte 3D-Darstellung des Vergleichs zweier Skulpturen

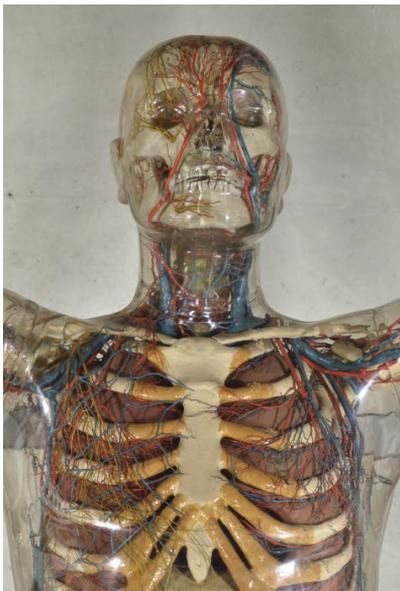
herkömmlichen Formenanalyse stellte sich der digitale Vergleich für geschnitzte Skulpturen als ungeeignet heraus.

Für den Vergleich anderer seriell hergestellter Kunstwerke, wie geprägter Ton- und Papiermachéreliefs oder gegossene Metall- oder Wachsreliefs konnte die 3D-Laservermessung durchaus erfolgreich eingesetzt werden. Die Idee des 3D-Vergleichs geschnittener Holzoberflächen war zu Beginn der vorliegenden Studie gänzlich neu. Da die Ergebnisse bisher nie publiziert wurden, kann der geplante Vortrag eine inhaltlich Fachdiskussion zu diesem Thema durchaus anregen. Er soll die angewandte Methode ausführlich vorstellen, die gewonnenen Ergebnisse anschaulich präsentieren und diese vor allem in Hinblick auf kunsttechnologisch und kunsthistorisch relevante Forschungen kritisch diskutieren und bewerten.

# Durch transparente Materialien blicken: Die Möglichkeiten und Grenzen des 3D Scans im Forschungsprojekt „Gläserne Figuren – Ausstellungssikonen des 20. Jahrhunderts

Maria Lörzel

“



Der Gläserne Mann (1962) aus der Sammlung des Deutschen Hygiene-Museums Dresden. ©Lörzel

Das auf dreieinhalb Jahre angelegte Forschungsprojekt wird vom Deutschen Hygiene-Museum gemeinsam mit dem Studiengang Kunsttechnologie, Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut der Hochschule für Bildende Künste Dresden, der Professur für Organische Chemie der Polymere der Technischen Universität Dresden sowie dem Institut für Restaurierungs- und Konservierungswissenschaft (CICS) der Technischen Hochschule Köln bearbeitet. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungskollegs soll ein wissenschaftlich begründetes, tragfähiges Konservierungs- und Restaurierungskonzept entstehen, das den langfristigen Erhalt und damit die Ausstellbarkeit der unterschiedlichen „Gläsernen Figuren“ sichert und auch auf andere museale Sammlungen übertragen werden kann.

Die lebensgroßen, anatomischen Modelle „Gläserne Figuren“ sind komplexe Objekte mit verschiedensten Bauteilen und Zustandsveränderungen. Dargestellt sind Haut, Knochen, Organe, Blutgefäße und Nerven des Menschen bzw. von Tieren, dazu kommen elektrische Bauteile. Unter den Einzelteilen finden sich auch sehr filigrane Materialien, zum Beispiel viele Drähte mit nur wenigen Millimetern Durchmesser. Die exakte Abbildung dieser Bauteile auf fotografischen Gesamtabbildungen ist problematisch. Zustandsveränderungen findet man häufig in isolierten, kleinen, verdeckten oder hinterschnittenen Bereichen. Sie lassen sich durch den ineinandergreifenden Aufbau meist schlecht mit zweidimensionalen Abbildungen dokumentieren.

Diese Komplexität abzubilden wäre ein Musterfall für die 3D-Scantechnik. Doch verfügen die *Gläserne Figuren* über eine transparente Kunststoffhaut, die zwar den Blick freigibt auf

das Innere, aber für Scanner und Kameras zur Herausforderung wird. Problematisch ist vor allem der starke Glanz, der schon zweidimensionale Fotografie erschwert. Die Haut ist von Laserscannern kaum zu erfassen. Dazu kommt die Brechung des Lichtes durch den Kunststoff, die maßgenaue Scans der inneren Bauteile verhindert.

Es muss der Frage nachgegangen werden, welche Möglichkeiten es gibt, um dennoch die Vorteile von 3D-Modellen zu nutzen. Die temporäre Mattierung der Außenhaut ist eine Option. Doch muss abgewogen werden, wie hoch der Nutzen der Darstellung einer einzigen Baugruppe wäre. Zusätzlich muss auch der Zustand der zum Teil stark geschädigten Haut bei der Auswahl eines potenziellen Mattierungsmittels berücksichtigt werden. Gibt es noch andere Techniken, die eine dreidimensionale Darstellung ermöglichen würden? Können die 3D-Modelle auch außerhalb der reinen Dokumentation verwendet werden – zum Beispiel für physikalische Berechnungen oder Monitoring des Zustandes?

Diese und weitere Fragestellungen werden aktuell im Forschungsprojekt diskutiert. Es wird versucht Anforderungen an 3D-Scanverfahren aufzustellen und passende Lösungen oder Alternativen zu finden.

## Die Rekonstruktion von Felsformationen der Potsdamer Neptungrotte mit Hilfe von 3-D-Modellen

Andreas Rentmeister

Die Neptungrotte im östlichen Lustgarten im Park Sanssouci (G. W. von Knobelsdorff, fertiggestellt 1757) wird seit 2015 umfangreich instand-gesetzt. Das Bauwerk besteht hinter einer portal-artigen Fassade aus einem einzigen Raum, der Grotte. Blickfang und Bekrönung der Fassade bildet eine überlebensgroße



Andreas Rentmeister, 21.03.2014, Neptungrotte Potsdam

Neptunskulptur. Diese beiden wesentlichen Baumerkmale gaben dem Bauwerk seinen Namen. Seitlich der Marmorfassade befinden sich bis zu 5 m hohe Felsimitationen aus größtenteils freistehenden Sandsteinwerkstücken. Die Werkstücke sind auf den Sichtseiten bildplastisch gestaltet (Felsimitation, Blattwerk, Blüten und Wasserkaskaden) und haben Einzelgewichte zwischen 30 und 1.800 kg. Durch Witterungseinflüsse und frühere Sanierungen sind die Felsformationen verschoben bzw. falsch zusammengesetzt, einzelne Bereiche sind abgebrochen.

Die Werkstücke wurden im Zuge der jetzigen Arbeiten demontiert und eingelagert, um sie später wieder aufstellen zu können.

Für die Wiedererrichtung muss der richtige Aufbau gefunden und Bruchstücke passend zugeordnet werden. Traditionell wird diese Anforderung durch Probeaufbauten und Anpassversuche mit den originalen Bauteilen erfüllt. Im Fall der Felsformationen hätte dies einen enormen Aufwand an Versetz- und Sicherungsmaßnahmen bedeutet, zudem ist eine solche Arbeit mit Gefahren sowohl für die Originalbauteile als auch für die Ausführenden verbunden.

Um Aufwand und Gefahren zu umgehen, wurde eine zeitgemäße Lösung gefunden.

Von den insgesamt 38 Bauteilen ganz unterschiedlicher Größe wurden 3-D-Scans angefertigt und maßstäbliche 3-D-Modelle gedruckt. Die Modelle sind mit einem Gewicht von 50 g bis ca. 3 kg und einer Größe von max. ca. 40 x 20 x 15 cm händisch einfach zu bewegen.

Mit diesen 3-D-Modellen wurde der richtige Aufbau der Felsformationen erprobt, die meisten Bruchstücke konnten zugeordnet werden. Der Modellaufbau ist bis zu 80 cm hoch, er dient als Vorlage für den Wiederaufbau der realen Felsformationen, ohne die Originalbauteile für die Probeaufbauten verwenden zu müssen.

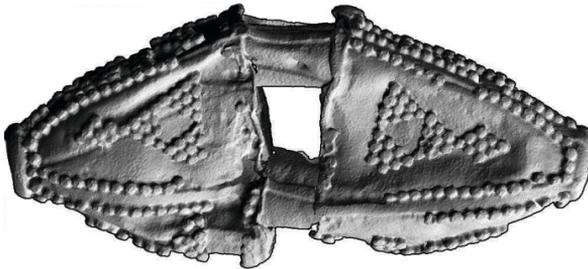
Die Dokumentation und Demontage der Felsformationen erfolgte durch einen Restaurator, die 3-D-Erfassung und der Modelldruck wurden im Rahmen einer Masterarbeit von einem Vermessungsingenieur durchgeführt.

Der Probeaufbau erfolgte in mehreren Kampagnen, in denen die beteiligten Architekten, Ingenieure, Kunsthistoriker und Restauratoren interdisziplinär zusammenarbeiteten.

Die technischen Möglichkeiten der 3-D-Verfahren wurden für die Felsformationen der Neptungrotte in der ganzen Bandbreite genutzt. Durch den Einsatz der 3-D-Technik konnten die Fragen nach dem richtigen Aufbau der Felsformationen und der Zuordnung von aufgefundenen Bruchstücken substanzschonend für die Originalbauteile, kostensparend für den Bauherrn und gefahrlos für die Beteiligten geklärt werden.

## Spurensuche - Werkzeugspuren an den Münzen des hochmittelalterlichen Hacksilberhortfundes von Cortnitz, Lkr. Bautzen

Gabriele Wagner



Thomas Reuter Landesamt für Archäologie Sachsen 04.03.2014 Scan einer doppelpyramidenförmigen Perle mit Blechsäulchen

Dresden den hochmittelalterlichen Hacksilberhortfund von Cortnitz (Lkr. Bautzen). Mit der Bestimmung der islamischen Münzen aus dem Hortfund sind Wissenschaftler aus dem *Emmerich-Hutten-Czapski-Museum* in Krakau (Muzeum im. Emeryka Hutten-Czapskiego w Krakowie) sowie aus dem *Orientalischen Seminar, Forschungsstelle für Islamische Numismatik*, an der Universität Tübingen befasst.

Neben neuen Aussagen zur Zusammensetzung des Hortes aus Münzen und Schmuck und den Handelsbeziehungen zwischen Mittel- und Osteuropa, liefert die vielfältige Untersuchung des Cortnitzer Hortes interessante Erkenntnisse zu den Herstellungstechniken, die von den Edelmetallschmiedern bei der Anfertigung der Schmuckstücke angewendet wurden.

Jedes Werkzeug hinterlässt auf Grund seiner spezifischen Geometrie charakteristische Spuren auf der bearbeiteten Metalloberfläche. Sie sind oft mikroskopisch klein, geben aber Auskunft über die Vorgehensweise des Handwerkers und das zur Herstellung verwendete Instrumentarium. An Schnittkanten kann man deutlich unterscheiden, ob zum Trennen eine Blechschere, eine Kneifzange oder ein Meißel benutzt wurde. Unterschiedliche Musterpunzen mit charakteristischen Fehlern oder Asymmetrien lassen sich ansprechen wie Fingerabdrücke. Auch die Herstellungsverfahren von Drähten sind an Hand der Oberflächenstruktur in die typischen Ziehspuren des Zieheisens und die davon abweichenden Spuren der aus Blechstreifen gerollten Drähte zu trennen.

Das Silber der Cortnitzer Schmuckstücke ist durch die Bodenlagerung extrem fragil und die Objekte damit hochempfindlich. Große Teile der Beschreibungen für den in Arbeit

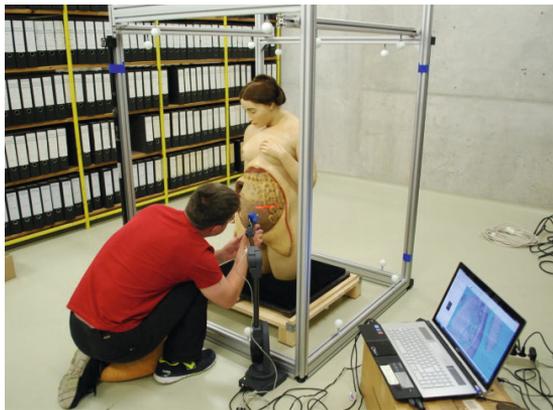
Seit über drei Jahren untersucht das *Landesamt für Archäologie Sachsen* zusammen mit dem *Geisteswissenschaftlichen Zentrum Geschichte und Kultur Ostmitteleuropas* an der Universität Leipzig (GWZO) und dem *Münzkabinett der Staatlichen Kunstsammlungen*

befindlichen Gesamtkatalog konnten an Hand hoch auflösender 3D-Scans erstellt werden. Hier waren Faltungen des Grundbleches, Anordnung und Größe der Granalien, die Stärke des Materialabriebs und die Drehungsrichtung der tordierten Drähte gut zu erkennen, ebenso wie Schnittrichtungen und -abfolgen. So konnten auch die Bereiche eingegrenzt werden, die zwingend am Original untersucht werden mussten. Die Handhabung der Originale konnte so deutlich reduziert werden, ganz ersetzen kann der Scan die Untersuchung am Original natürlich nicht. Die Scans von Vergleichsstücken aus dem Archäologischen Museum in Poznan (Muzeum Archeologiczne w Poznaniu) erlauben darüber hinaus umfassende, standortunabhängige Vergleiche im überregionalen Kontext. Daneben stehen die Daten für 3D-Drucke oder Animationen zur Verfügung.

# 3D-Modellierung und Schadenserfassung an einer anatomischen Wachsfigur: Durchführung, Ergebnisse und Grenzen der angewandten Verfahren für den Einsatz an keroplastischen Bildwerken

Johanna Lang, Marcel Bernoteit

Das Wachsmodell *Eine Frau im Neunten Monat schwanger* (DHMD 2011/1) im Deutschen Hygiene-Museum Dresden weist gravierende Schäden auf, die den zukünftigen Fortbestand des Sammlungsstückes stark gefährden: Der Kopf ist infolge eines Hitzeschadens nach vorne bzw. unten geneigt und droht, sich unter seinem Eigengewicht weiter zu senken oder gar abzubrechen. Zudem ist die wächserne Wandung der hohlen Figur von zahlreichen Rissen durchzogen, die



Johanna Lang, 2015, Marcel Bernoteit beim Vermessen des Wachsmodells "Weibliche Halbfigur im 9. Monat schwanger" (DHMD 2011/1) aus dem Deutschen Hygiene-Museum Dresden mittels 3D-Scan

fortschreiten und dabei zu einem Auseinanderbrechen bzw. einem Kompletverlust führen können. Präventive konservatorische Maßnahmen wie das Gewährleisten eines stabilen Umgebungsklimas, ein schonungsvoller Umgang sowie ein indirektes Stützen des Kopfes sollen den weiteren Erhalt der Wachsarbeit garantieren. Mittels digitaler Modellierung des wächsernen Bildwerkes im 3D-Scan-Verfahren wurden die Risse kartiert und vermessen sowie die Kopfeigung erfasst. Ziel hierbei war es, die Schäden zukünftig auf ein Fortschreiten hin überprüfen und somit die Effektivität der Schutzvorkehrungen beurteilen zu können. Der Beitrag stellt das Vorgehen bei der 3D-Modellierung und die eingesetzten Verfahren vor. Ferner werden die Ergebnisse dieser Arbeiten aber auch die Probleme dargelegt, die sich aufgrund der speziellen Oberfläche des Werkstoffes Wachs für die angewandten Methoden ergaben.

# "Denn sie wissen nicht was sie tun" - Sinn und Unsinn in der Anwendung digitaler dreidimensionaler Technologien als Spannungsfeld der Konservierung und Restaurierung

Alexander Gatzsche



Alexander Gatzsche, 2012, 3D-Scan eines Prager Groschens

Digitale 3D-Technologien werden in der Restaurierung bereits seit einigen Jahren angewandt. Allerdings führen nur wenige Restauratoren/innen diese Arbeiten selbst durch, sondern lassen Sie zumeist von anderem Fachpersonal übernehmen. Dies führt dazu, dass sie fast ausschließlich in sehr teuren Einzelprojekten Anwendung finden. Dies schreckt vor allem Selbstständige ab, die

auf die Wirtschaftlichkeit ihrer Arbeiten in vielen Punkten achten müssen - daher immer die Frage "Wozu brauchen wir das überhaupt?", da auch so schon genug zu tun ist. Auch fehlt das Verständnis für die Technologien und deren Möglichkeiten, wodurch bei der eigenen Anwendung oft enttäuschende erste Ergebnisse entstehen, die aufgrund des fehlenden Know-how dazu führen, dass sich nicht weiter damit beschäftigt wird. Oft fehlt auch einfach die Fragestellung, was man mit einem 3D-Modell überhaupt anfangen möchte und es wird daher gerne als Spielerei abgetan oder als "Musthave" vermittelt, allerdings ohne weiteren Nutzen. Dabei fehlt im Umkehrschluss auch die Definition was für Anforderungen und Eigenschaften das Modell besitzen soll, um zukünftig damit arbeiten zu können. Auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten muss klar sein, mit welcher Technologie man welche Ergebnisse erzielen kann. Vor allem auch aufgrund dieser Unwissenheit gegenüber der Technologie werden auch Stimmen laut, die behaupten, dass die digitale 3D-Technologie den/die Restaurator/in in bestimmten Bereichen ersetzen wird. Der Vortrag beinhaltet verschiedene Projektanwendungen unter unterschiedlichen äußeren Bedingungen und unter Verwendung verschiedener Technologien um den Nutzen für die Restaurierung herauszustellen und aufzuzeigen, wie wichtig der/die Restaurator/in in der Anwendung an Denkmälern und historischen Objekten bleibt. Darüber hinaus soll er unter Zusammenstellung der oben genannten Probleme zur Diskussion anregen, inwieweit der/die Restaurator(in) auch selbst befähigt werden kann 3D-Scan und -Druck im normalen Arbeitsablauf sinnbringend einzugliedern

KONTAKTDATEN →

**Liane Albrecht**

Landesamt für Archäologie Sachsen  
Zur Wetterwarte 7  
01109 Dresden  
liane.albrecht@lfa.sachsen.de

**Marcel Bernoteit**

Am Ölschlag 4  
95652 Waldsassen  
mcberno@outlook.de

**Miriam Braun**

Landesamt für Archäologie Sachsen  
Zur Wetterwarte 7  
01109 Dresden  
Tel: 0351/8926862  
Miriam.Braun@lfa.sachsen.de;

**Theresa Bräunig**

Zentralwerk  
Riesaer Str. 32  
01127 Dresden  
Tel.: 0157-39593306  
kontakt@braeunig-restaurierung.de

**Amandine Colson**

Hans-Scharoun-Platz-1  
27568 Bremerhaven  
acn.colson@gmail.com

**Stephanie Exner**

Tel.: 0351 49149745  
stephanie.exner@skd.museum

**Alexander Gatzsche**

Alexander Gatzsche und Irene Pamer  
GbR CulturARTis  
Pflasterstraße 3  
04668 Grimma OT Bröhßen  
Tel: 0152-019 63 519  
info@culturartis.de

**Carolin Heinemann**

Am Weißenhof 1  
70191 Stuttgart  
carolin.heinemann@gmail.com

**Guido Heinz**

RGZM  
Ernst-Ludwig-Platz 2  
55116 Mainz  
heinz@rgzm.de

**Kristina Holl**

Bayerische Verwaltung der staatlichen  
Schlösser, Gärten und Seen  
Schloß Nymphenburg, Eingang 42  
80638 München  
Tel: 089/17908-363  
kristina.holl@bsv.bayern.de

**Christoph Krekel**

Am Weißenhof 1  
70191 Stuttgart  
Tel.: 0711 28440 261  
chistoph.krekel@abk-stuttgart.de

**Patrick Lackner**

Hornschuchpromenade 7  
90762 Fürth  
Tel. 0911/7876540  
info@conn-giersch.de

**Johanna Lang**

Ortolfstr. 17  
81247 München  
Tel.: 0179-2237254  
restaurierung@johanna-lang.com

**Maria Lörzel**

HfBK Dresden / Deutsches Hygiene-  
Museum Dresden  
Tel.: 0351 / 4846 294  
Loerzel@HfBK-Dresden.de

**Joerg Maxzin**

Technische Hochschule Deggendorf  
Dieter-Görlitz-Platz 1  
94469 Deggendorf  
joerg.maxzin@th-deg.de

**Christian Mulsow**

Institut für Photogrammetrie und  
Fernerkundung  
Tel: 0351 46339701  
christian.mulsow@tu-dresden.de

### Heinrich Piening

Tel: 089 17908450  
heinrich.piening@bsv.bayern.de

### Tobias Reich

Hochschule Mainz/i3mainz  
Lucy-Hillebrand-Straße 2  
55128 Mainz  
Tel: 06131-628-1493  
tobias.reich@hs-mainz.de

### Andreas Rentmeister

Dieffenbachstr. 35  
10967 Berlin  
Tel: 030 6923631  
info@steinhof-restaurierung.de

### Thomas Reuter

Landesamt für Archäologie Sachsen  
Zur Wetterwarte 7  
01109 Dresden  
thomas.reuter@lfa.sachsen.de

### Lluïsa Sàrries Zgonc

9W 20th Street #6 New York  
NY 10011 USA  
Tel.: +19178472213  
lluisa@sarries.de

### Armgard Schrenk

Lenbachstr. 6  
01219 Dresden  
armgard.schrenk@arcor.de

### Gunnar Siedler

fokus GmbH Leipzig  
Lauchstädter Straße 20  
04229 Leipzig  
Tel.: 0341-2178460  
Siedler@fokus-GmbH-Leipzig.de

### Sebastian Vetter

Adresse: fokus GmbH Leipzig,  
Lauchstädter Straße 20  
04229 Leipzig  
Tel.: 0341-2178460  
Vetter@fokus-GmbH-Leipzig.de,

### Gabi Wagner

Landesamt für Archäologie Sachsen: Zur  
Wetterwarte 7,  
01109 Dresden  
Tel. 0351/8926-861  
Gabriele.Wagner@lfa.sachsen.de



