

# DIGITALE 3D-ERFASSUNG VON ARTEFAKTEN IN MUSEEN UND SAMMLUNGEN

Dr. Dirk Rieke-Zapp<sup>a</sup> und Dr. Bernd Breuckmann<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland, dirk.rieko-zapp@breuckmann.com; <sup>b</sup> Breuckmann, Breuckmann-3D Engineering, Meersburg, Deutschland, breuckmann-3d@t-online.de

**KURZDARSTELLUNG:** Seit mehr als zwei Jahrzehnten können Verfahren und Geräte aus der optischen 3D Messtechnik für die 3-dimensionale Erfassung von musealen Objekten eingesetzt werden. Seit ungefähr 15 Jahren gehören Streifenlichtsysteme mit hoher Detailauflösung, Präzision und Genauigkeit für die Digitalisierung von kleinen (1 mm<sup>3</sup>) bis großen Messvolumen (>20 m<sup>3</sup>) zum Stand der Technik in der Dokumentation von Objekten mit kulturhistorischer Bedeutung. In der industriellen Messtechnik werden sehr hohe Genauigkeitsanforderungen vorausgesetzt, die sich auf internationale Standards zurückführen lassen. Hier geht der Trend zunehmend zu schnellerer Erfassung und stärkerer Automation der Messverfahren. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit sich aktuelle Trends aus der industriellen Messtechnik auf Messaufgaben in Museen und Sammlungen übertragen lassen. Anhand von Projekten und Erfahrungen aus dem industriellen sowie musealen Umfeld wird aufgezeigt, welche Methoden und Ansätze sinnvoll aus der industriellen Messtechnik für die 3D Dokumentation in Museen und Sammlungen eingesetzt werden können.

## 1. INDUSTRIELLE MESSTECHNIK

In der industriellen Messtechnik sind 3-dimensionale Messverfahren seit vielen Jahren fester Bestandteil von Herstellungsprozessen. Bei der Qualitätskontrolle, im Designbereich, zur Digitalisierung und in vielen weiteren Bereichen werden optische Nahbereich-Messsysteme verwendet. In diesem Beitrag beschränken wir uns auf Streifenlicht-Messsysteme. Neben hohen Anforderungen an Auflösung und Genauigkeit der Messdaten, sind einfache Bedienung und ein hoher Grad der Automatisierung von Software und Hardware von besonderem Interesse.

Von industriellen Messsystemen wird in der Regel verlangt, dass die Genauigkeit auf ein nationales Längennormal rückführbar ist (VDI/VDE 2634 Blatt 1 bis 3). Dabei sind Messmittel, die für die Kalibrierung verwendet werden, in der Regel jährlich zur Überprüfung durch akkreditierte Firmen zu schicken.

Ebenso wird in der industriellen Messtechnik ein hoher Grad der Automatisierung erwartet, um Kosten zu optimieren. Der Einsatz von Dreh-/Schwenkeinheiten zur automatischen Positionierung ist ein einfaches Hilfsmittel zur Vorpositionierung von Messobjekten. Montiert man den

Messsensor auf einen Roboter (Abb. 1) kann eine vordefinierte Bahn vom Roboter abgefahren werden.



*Abb. 1: Streifenlichtsystem auf Roboter mit zusätzlichem Sensor Tracking zur Erfassung der Sensorposition im Raum*

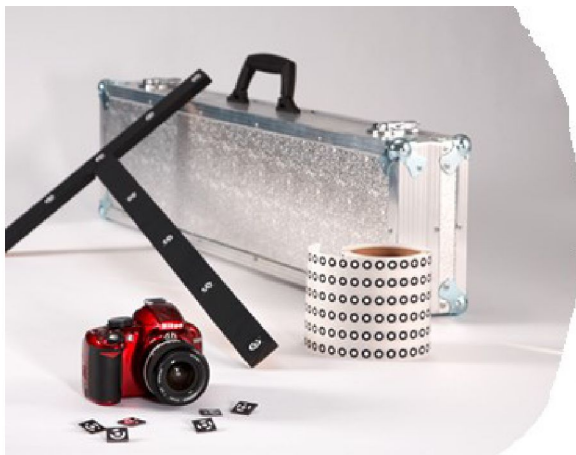
Die Bahnplanung für die Verfahwege des Roboters wird in der Regel von einem Anwender vorab definiert oder erfordert Vorwissen vom Objekt.

Eine automatische Bahnplanung (next-best-view) für beliebige Objekte mit unbekannt Dimensionen erfordert Vorwissen aus CAD Dateien oder durch einen Vorabscan. Es gibt verschiedene CE-Vorschriften, die zudem definieren wie der Einzugsbereich eines Roboters (Messzelle)

abgesichert sein muss, um Schaden an Leib und Leben zu minimieren. Die funktionale Sicherheit eines Roboter-Systems erfordert aufwendige Planung und Zertifizierung (DIN EN 12100 Risikobeurteilung – Risikominderung).

Weitere wichtige Objekteigenschaften sind Transparenz oder Teiltransparenz der Oberfläche, Reflektionseigenschaften, Helligkeit und teilweise auch die Farbe. Eine automatische Abschätzung dieser Eigenschaften erfordert aufwendige Messungen oder Vorwissen.

Neben der automatischen Erfassung von Messdaten mit Geräten werden zudem hohe Anforderungen an die Software gestellt. Messdaten sollen ohne Verlust an Genauigkeit und Auflösung zu kompletten Modellen zusammengefügt werden. Beste Ergebnisse erreicht man hier, wenn Messmarken auf das Objekt angebracht werden, die bei der Vermessung großer Objekte auch mit einem Referenzsystem aufgemessen werden können (Abb. 2). Insbesondere große Objekte oder Objekte mit wenig 3D-Struktur (ebene Objekte) benötigen einen externen Referenzrahmen.



*Abb. 2: Scanreference– zur photogrammetrischen Referenzierung von Messmarken am Objekt.*

Scannen ohne Messmarken oder Positionierungssystem ist in der Regel möglich, erfordert aber die Interaktion des Anwenders für die Vorausrichtung der Einzelscans. Eine robuste, automatische Vorausrichtung ist zurzeit Forschungsgegenstand (PREVIOUS).

Für industrielle Anwendungen werden Messsysteme bereits in der Planungsphase so angepasst, dass Umgebungsbedingungen einen möglichst geringen Einfluss auf den Messablauf haben. Große Objekte werden zum Messsystem gebracht. Platzverhältnisse, Umgebungslicht, Temperatur, Vibrationen, etc. werden bei der Planung der Messumgebung berücksichtigt.

Die Erfassung von (Farb-)texturen und weiteren Materialeigenschaften ist zunehmend von Interesse. Mit *Texture Mapping* kann man zum Beispiel Markierungen und Beschriftungen zusammen mit den 3D-Daten darstellen und somit einen Informationsgewinn erzielen.

## 2. MESSTECHNIK FÜR KUNST UND KULTUR

Streifenlichtsysteme werden auch für Anwendungen in Kunst und Kultur seit vielen Jahren verwendet. Die Systeme basieren grundsätzlich auf industriellen Messsystemen und bieten somit hohe Auflösung und Genauigkeit am Objekt. Speziell geeignet für Anwendungen in Kunst und Kultur sind kompakte Scanner mit geringem Packmaß und hoher Flexibilität (Abb. 3). Während für die industrielle Messtechnik in der Regel monochrome Kameras bevorzugt werden, wählen Anwender aus Kunst und Kultur viel häufiger Farbkameras, um auch die Objektfarbe beim Scanning als Zusatzinformation aufzunehmen. Spezielle Softwaremodule zur Auswertung von Gemälden und Puzzlealgorithmen sind weitere Spezialentwicklungen für den Kunst und Kulturbereich.

Die Anforderungen an Auflösung und Genauigkeit in Kunst und Kultur sind in der Regel schlecht definiert. Anwender sind mit Normen und Begriffen kaum vertraut. Gleichzeitig verlangen gerade Museumsstücke eine sehr hohe Auflösung und Genauigkeit der Daten für die digitale Archivierung. Feinste Bearbeitungsspuren und Ausprägungen an den Objekten sind in der Regel nur mit sehr hochwertigen Scannern zu erfassen. Da der Stand der Technik hier schnell voranschreitet, sollte man möglichst mit high-end Geräten arbeiten, wenn man die Daten für lange Zeit archivieren möchte. Die Genauigkeit wird wichtig, wenn große Objekte maßgetreu erfasst werden sollen. Nur Systeme mit hoher Genauigkeit stellen sicher, dass die Einzelscans von großen

Objekten korrekt zusammengeführt werden können. Die Stabilität eines Messsystems über den Messzeitraum hinweg ist bei industriellen Systemen ein wichtiger Parameter. Während Standard-Systeme häufig schnell aus der Kalibrierung laufen, sind industrielle Messsysteme robust konstruiert, um auch über längere Zeiträume eine gleichbleibende Datenqualität zu gewährleisten - auch unter harten Einsatzbedingungen. Eine schnelle Überprüfung der Kalibrierung, bzw. Rekalibrierung ist bei industriellen Systemen sehr wichtig und somit Bestandteil eines Systems.

Das Anbringen von Messmarken wird auch an großen Objekten in Museen und Sammlungen nicht toleriert. Die Messstrategie muss so angepasst werden, dass trotzdem präzise Messdaten mit angemessener Genauigkeit aufgenommen werden können. Grundvoraussetzung ist in diesem Fall auch wieder ein System mit hoher Genauigkeit.

Ein wesentlicher Unterschied zu industriellen Systemen ist, dass Kunstobjekte in der Regel nicht zum Scanner kommen, sondern der Scanner zum Objekt gebracht werden muss. Beengte Platzverhältnisse, sich ändernde Lichtbedingungen, Öffnungszeiten von Ausstellungen und daraus bedingte logistische Herausforderungen machen die Digitalisierung von Kunstobjekten zu einer Herausforderung. Die Anforderungen wechseln meist sehr stark mit jedem neuen Objekt, das gescannt werden soll.

Während die automatische Beurteilung der Materialeigenschaften für ein automatisches System sehr komplex ist, kann ein geschulter Anwender sehr schnell erkennen, wann Scanposition oder -winkel angepasst werden müssen. In diesem Fall findet eine direkte Qualitätskontrolle durch den Operateur statt, der dann auch sofort geeignete Maßnahmen ergreifen kann, um das Ergebnis zu optimieren.

Insbesondere bei Objekten, die nicht zum Scanner kommen können, sondern an Ort und Stelle digitalisiert werden müssen, ist ein geschulter Anwender schneller und flexibler bei der Datenaufnahme als ein automatisiertes System (Abb. 3). Stellplätze in Museen sind selten so gewählt, dass ein Objekt einfach von allen Seiten erfasst werden kann. Für einen automatischen Messvorgang müsste jeweils eine Messzelle aufgebaut werden. Auch bei kleinen Objekten

wird sich eine Messzelle für einen automatischen Scanablauf nur bedingt lohnen. Dreh-/Schwenkeinheiten können dem Anwender hier bereits viel Zeit abnehmen. Der Messaufbau bleibt kompakt und leicht transportabel. Ein universelles Messsystem sollte auch auf längeren Strecken, zum Beispiel auf Flugreisen im Gepäck, mitgeführt werden können.



*Abb. 3: Scanning in Elefsina, Griechenland, für das PRESIOUS Projekt. Die Säule wurde im Freien gescannt, der Boden ist uneben und der Zugang zur Messstelle erschwert. Die Scanzeit beträgt 4 h mit Auf- und Abbau mit dargetesteten smartSCAN Scanner.*



*Abb. 4: d-STATION zur automatischen Digitalisierung von kleinen Objekten.*

Geschlossene Systeme sind sehr gut geeignet für die vollautomatische Erfassung von kleinen Objekten (Abb. 4). Das Messvolumen ist beschränkt, dafür kann man



unabhängig vom Umgebungslicht agieren. Je größer das Messvolumen einer solchen Station wird, desto flexibler ist diese einsetzbar.

Die vermehrte Verfügbarkeit von 3D-Druckern und die fallenden Preise für Ausdrücke von diesen öffnen einen Markt für größere Messzellen. 3D-Drucker können Volumen von 30 x 30 x 30 cm<sup>3</sup> zu sinnvollen Preisen erstellen. Es ist anzunehmen, dass in naher Zukunft vermehrt geschlossene Systeme angeboten werden, die sich an den Volumen von 3D-Druckern orientieren. Dabei ist darauf zu achten, dass die Systeme leicht transportabel bleiben sollten, um sie an möglichst vielen Orten einsetzen zu können. In einem Messvolumen von 30 x 30 x 30 m<sup>3</sup> kann man bereits die meisten Kleinfunde automatisch digitalisieren.

Größe und Komplexität von Messeinrichtungen schlagen sich immer auch im Preis nieder. Komplexe Systeme erfordern zusätzlich noch geschultes Personal zur Bedienung. Auch auf der Kostenseite bieten halb-automatische Systeme einen großen Vorteil.

Bei der Software besteht Bedarf für ein komplett automatisches Alignment zur Beschleunigung und Vereinfachung der Datenaufnahme. Es ist zu erwarten, dass aus laufenden Forschungsprojekten erste kommerzielle Module hervorgehen, die eine robuste Vorausrichtung von Scans für ganz verschiedene Objektklassen liefern werden.

Die gleichzeitige Erfassung von Form und Farbe ist seit vielen Jahren möglich. Eine korrekte, definierte Farbwiedergabe und die Definition von Reflexionseigenschaften stellen weiterhin eine Herausforderung für Digitalisierungssysteme dar. Zurzeit werden im Rahmen der EU COST Action TD1231 (COSCH) Informationen zum Stand der Technik in diesem Bereich gesammelt und Forschungsfragen definiert, um in diesem Bereich weiter voran zu kommen.

### 3. SCHLUSS

Genauigkeit und Präzision der industriellen Messtechnik sind seit Jahren für die Digitalisierung von Kunstobjekten geeignet. Eine weitere Automatisierung des Digitalisierungsprozesses ist möglich, man sollte jedoch

beachten, dass Kunstobjekte in der Regel nicht zum Scanner kommen und eine Automatisierung analog zu industriellen Anwendungen zurzeit nicht sinnvoll machbar ist. Die Betreuung einer automatisierten Messzelle, in der unterschiedliche Gegenstände gemessen werden sollen, erfordert sehr viel Einrichtzeit durch geschultes Personal. Das System ist quasi ortsgebunden. Eine komplette Automatisierung des Scanprozesses von Objekten verschiedener Größen, ist zu sinnvollen Kosten nicht durchführbar. Sicherheitsaspekte erlauben keinen Einsatz in Bereichen, in denen Menschen sich bewegen, innerhalb von Ausstellungen mit Publikumsverkehr. Die Bedienung einer automatischen Messzelle benötigt gut ausgebildetes und geschultes Personal. Obwohl eine vollautomatische Messzelle für Massenscanning langfristig durchaus interessant erscheint, bleibt man mit halb-automatischen Systemen nicht nur mobiler, sondern auch günstiger. Mit einem solchen System kann ein angelearnter Techniker in kurzer Zeit jegliche Art von Objekt erfassen und in verschiedenen Museen und an Fundorten Daten erfassen.

Sollen ganze Sammlungen digitalisiert werden, lassen sich Tischgeräte für die vollautomatische Digitalisierung einsetzen. Die Leistungsfähigkeit solcher Tischgeräte wird sich in Zukunft am Durchvolumen von 3D-Druckern orientieren und stetig wachsen. Eine weitere Automatisierung im Bereich Kunst und Kultur macht erst Sinn, wenn eine höhere Akzeptanz für Messzellen erreicht ist. Bis dahin sollten vorhandene Geräte genutzt werden, um die ausgestellten Kunstwerke in Museen systematisch zu erfassen.

Neben der Erfassung der Form wird die Erfassung der Farbe und anderer Materialeigenschaften weiter an Bedeutung gewinnen. In diesem Bereich besteht weiterhin Forschungsbedarf.

### 4. LITERATURHINWEIS

- [1] COSCH - COST-Action TD 1201: *Colour and Space in Cultural Heritage* - <http://www.cosch.info/> (aufgerufen: 19.10.2014).
- [2] DIN EN ISO 12100 - Sicherheit von Maschinen (ISO 12100:2010): *Allgemeine Gestaltungsgrundsätze*

*Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010.*

- [3] PRESIOUS: *Predictive digitization, restoration and degradation assessment of cultural heritage objects* - <http://presious.eu/> (aufgerufen: 19.10.2014).
- [4] VDI/VDE 2634 Blatt 1 (2002-05): *Optische 3D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit punktförmiger Antastung.*

[5] VDI/VDE 2634 Blatt 2 (2012-08): *Optische 3-D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung.*

[6] VDI/VDE 2634 Blatt 3 (2008-12): *Optische 3-D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in mehreren Einzelansichten.*