

# CaRISA - Eine Seilroboter-basierte Kameraplattform für die Untersuchung dreidimensionaler Kunstobjekte

Matthias Alfeld<sup>1</sup>, Philipp Tempe<sup>2,3</sup>, Volkert van der Wijk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Delft University of Technology (TU Delft), Department of Materials Science and Engineering (MSE), Delft, The Netherlands

<sup>2</sup> Delft University of Technology (TU Delft), Department of Precision and Microsystems Engineering (PME), Delft, The Netherlands

<sup>3</sup> Laboratoire des Sciences du Numérique (LS2N), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 44321, Nantes, France

## Einleitung und Problemstellung

Kunstwerke lassen sich nicht auf ihren optischen Eindruck reduzieren, denn ihr materieller Charakter ist Teil ihrer Identität. Die Wahl der verwendeten Materialien repräsentiert die ökonomische und technologische Situation der Erschaffung des Kunstwerkes, genauso wie die Ausbildung und das Wissen des Künstlers. In den Materialien, besonders solchen die nicht direkt sichtbar sind, finden sich oft Spuren der Geschichte eines Objektes, besonders wenn es während seiner Schöpfung Änderungen der künstlerischen Intention gab.

Materialien können selten durch rein visuelle Untersuchungen identifiziert werden. Dafür bedarf es der Kombination verschiedener spektroskopischer und mikroskopischer Verfahren, sowie der Expertise in diesem Feld. Es zeigte sich auch, dass viele Fragen nur durch eine Kombination verschiedener Methoden beantwortet werden können.

Des Weiteren sind die meisten Objekte sehr komplex in ihrem Aufbau und sowohl optisch, wie auch chemisch äußerst heterogen. Daher wurden in den letzten Jahren bildgebende Verfahren, bei denen chemische oder elementare Verteilungsbilder aufgenommen werden, entwickelt und konnten sich etablieren (Alfeld und Broekaert, 2013; Alfeld und de Viguerie, 2017). Dabei sind besonders die Röntgenfluoreszenz Analyse (RFA) und Hyperspektral Bildgebung (Reflectance Imaging Spectroscopy, RIS) hervorzuheben.

Viele dieser Verfahren wurden jedoch ursprünglich für flache Proben in anderen Wissenschaftsfeldern entwickelt. Entsprechend war es vergleichbar einfach diese Methoden auf Gemälde anzuwenden, deren dreidimensionaler Charakter vernachlässigbar ist.

Andere Kunstobjekte, wie Statuen, Wandmalereien oder auch archäologische Objekte sind nicht flach und als solche nicht direkt zugänglich für diese Methoden. Wenn eine Messung dennoch gelingt haben die erhaltenen Verteilungsbilder oft signifikante Artefakte. Dieses ist ein besonderes Problem, wenn die Daten mehrerer Methoden kombiniert werden müssen um eine Frage zu beantworten. Folglich stellen die durch die dreidimensionale Form verursachten Bildartefakte ein wesentliches Hindernis in der Untersuchung vieler Kunstobjekte da.

## 3D Ansätze

In Anbetracht dieser Tatsache sind eine ganze Reihe Ansätze beschrieben worden, wie der 3D Form eines Objektes bei der Aufnahme von Daten Rechnung getragen werden kann. Der Fortschritt der Computer- und Sensortechnik erlaubt heute die kontaktlose Dokumentation der Form von Objekten mittels Laserscanner und Photogrammetrie (Remondino, 2011). Doch diese rein optischen Verfahren sind nicht direkt auf spektroskopische Messungen zu übertragen.

Eine Reihe von Verfahren und Instrumenten wurden entwickelt um diese Lücke zu füllen:

- Ein Ansatz ist es getrennt ein 3D Modell und einen spektroskopischen Datensatz aufzunehmen und diese dann zu kombinieren. Dieses wurde für forensische Messungen mittels RIS beschrieben (Edelman und Aalders, 2018). Auf der anderen Seite wurden 3D Modelle verwendet um aufgenommene RFA Datensätze zu korrigieren (Alfeld *et al.*, 2017). Die Grenze dieses Ansatzes ist, dass häufig nur kleine Areale aufgenommen und korrigiert werden können.
- Mehrkanalfotografie und Ramanspektroskopie wurden in einem Teleskop installiert und verwendet um damit Gemälde an den Decken verschiedener Stätten zu messen (Liang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2019). Der Nachteil dieser Instrumente ist, dass sie auf eine einzelne Methode beschränkt sind und zum anderen, dass sie nur für konkave Objekte, in deren Inneren sie positioniert werden können, geeignet sind.
- Um die Oberfläche komplexer Objekte mittels Punktmessungen zu rastern, wurde am C2RMF ein spezialisierte PIXE Aufbau entwickelt, wobei das Objekt auf einem Hexapod platziert wird und damit flexibel durch den Strahl bewegt wird. Diese Messungen basieren auf einem 3D Modell des Objektes, das mittels Laserscanner aufgenommen wurde (Calligaro *et al.*, 2020). Das System ist allerdings auf kleine Objekte begrenzt.

Daneben gibt es noch andere Ansätze für RFA wie die konstante Korrektur des Abstandes mittels eines Laserabstundmessers (Romano *et al.*, 2017) oder die Korrektur der aufgenommenen Daten mittels intrinsischer Signale für die Form des Objektes (Geil und Thorne, 2014; Alfeld, Gonzalez und van Loon, 2020).

Alle diese Lösungen erlauben eine deutliche Verbesserung der Qualität der aufgenommenen Daten und das Vermessen andererseits unzugänglicher Objekte, doch keine Plattform erlaubt es dasselbe Objekt mit mehreren Methoden im selben Rahmen zu untersuchen.

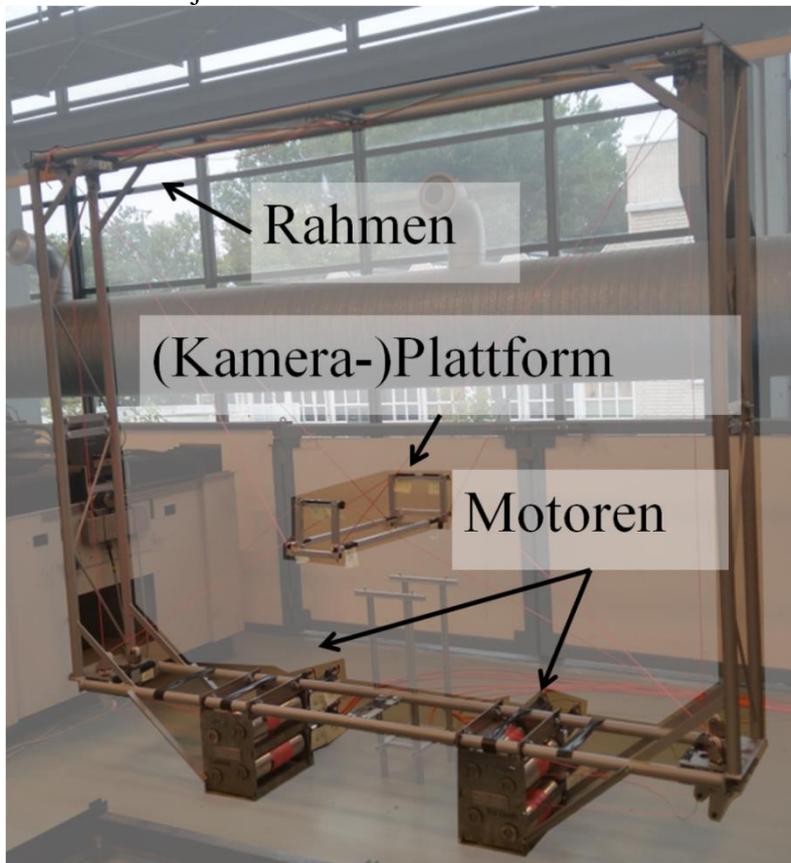


Abbildung 1: CarISA in der Werkstatt der TU Delft.

## CaRISA

Um diese Lücke der Methoden zu füllen, wurde in Zusammenarbeit mit dem Rijksmuseum Amsterdam an der TU Delft ein seilgetriebener paralleler Roboter (Seilroboter) entwickelt. Dabei wird die Kameraplattform von 8 Seilen gehalten und durch das koordinierte Ändern der Seillängen in fünf Freiheitsgraden bewegt (drei translatorische und zwei rotatorische Freiheitsgrade). Ein parallel angetriebenes System (alle Seile sind an der Plattform befestigt) hat dabei den Vorteil erhöhter Stabilität, geringerer absoluter Positioniergenauigkeit, und eines großen Verfahrensweges. Bei solchen Seilrobotern ist der maximale Verfahrensweg theoretisch unbegrenzt, wie die in Fußballstadien eingesetzte SkyCam (Cone, 1985) zeigt. Die flexiblen und leichten Seile sorgen darüber hinaus für eine leichte Konstruktion im Vergleich zu konventionellen motorisch betriebenen Systemen.

Als Prototyp wurde an der TU Delft CaRISA gebaut (Cable Robot for Inspecting and Scanning Artwork) (Tempel, Alfeld und van der Wijk, 2021) (siehe Abbildung 1). In diesem Modell ist der Bewegungsspielraum des Roboters durch die Größe des Rahmens begrenzt und beträgt in der aktuellen Ausführung  $1.5 \times 1.0 \times 0.3 \text{ m}^3$  mit der Möglichkeit den Messkopf um zwei Achsen bis zu  $\pm 35^\circ$  zu drehen, wobei die maximale Rotation nur im Zentrum des Volumens möglich ist. Die maximale Zuladung beträgt aktuell 5 kg, ist aber lediglich durch die aktuellen verwendete Antriebsleistung (Motorleistung und Getriebeübersetzung) begrenzt und kann durch geeignete Wahl der Komponenten angepasst werden.

Erste Messungen zeigen, dass die Geschwindigkeit und Stabilität der Kameraplattform ausreichend sind um damit Details von  $10 \mu\text{m}$  mittels eines optischen Mikroskopes aufzulösen. Aktuell wird die Plattform mit RFA und RIS-Messköpfen ausgestattet; die dafür notwendige, auf Photogrammetrie basierende Kontrollsoftware ist ebenfalls in Entwicklung.

## Literatur

- Alfeld, M. *et al.* (2017) 'The Eye of the Medusa: XRF Imaging Reveals Unknown Traces of Antique Polychromy', *Anal. Chem.*, 89(3), pp. 1493–1500. doi: 10.1021/acs.analchem.6b03179.
- Alfeld, M. und Broekaert, J. A. C. (2013) 'Mobile depth profiling and sub-surface imaging techniques for historical paintings—A review', *Spectrochim. Acta, Part B*, 88, pp. 211–230. doi: 10.1016/j.sab.2013.07.009.
- Alfeld, M., Gonzalez, V. und van Loon, A. (2020) 'Data intrinsic correction for working distance variations in MA-XRF of historical paintings based on the Ar signal', *X-Ray Spectrom.* doi: 10.1002/xrs.3198.
- Alfeld, M. und de Viguierie, L. (2017) 'Recent developments in spectroscopic imaging techniques for historical paintings - A review', *Spectrochim. Acta, Part B*, 136, pp. 81–105. doi: 10.1016/j.sab.2017.08.003.
- Calligaro, T. *et al.* (2020) 'A new 3D positioner for the analytical mapping of non-flat objects under accelerator beams', *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*, 467, pp. 65–72. doi: 10.1016/j.nimb.2020.01.028.
- Cone, L. L. (1985) 'Skycam: An Aerial Robotic Camera System', *Byte Magazine*, 10, pp. 122–132.
- Edelman, G. J. und Aalders, M. C. (2018) 'Photogrammetry using visible, infrared, hyperspectral and thermal imaging of crime scenes', *Forensic Sci. Int.*, 292, pp. 181–189. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.09.025.
- Geil, E. C. und Thorne, R. E. (2014) 'Correcting for surface topography in X-ray fluorescence imaging', *J. Synchrotron Radiat.*, 21(6), pp. 1358–1363. doi: 10.1107/S160057751401875X.
- Li, Y. *et al.* (2019) 'Standoff Raman spectroscopy for architectural interiors from 3–15 m distances', *Opt. Express*, 27(22), p. 31338. doi: 10.1364/OE.27.031338.
- Liang, H. *et al.* (2014) 'Remote spectral imaging with simultaneous extraction of 3D topography for historical wall paintings', *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 95, pp. 13–22. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.05.011.
- Remondino, F. (2011) 'Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning', *Remote Sens.*, 3(6), pp. 1104–1138. doi: 10.3390/rs3061104.
- Romano, F. P. *et al.* (2017) 'Real-time elemental imaging of large dimension paintings with a novel mobile macro X-ray fluorescence (MA-XRF) scanning technique', *J. Anal. At. Spectrom.*, 32(4), pp. 773–781. doi: 10.1039/C6JA00439C.
- Tempel, P., Alfeld, M. und van der Wijk, V. (2021) 'Design and Analysis of Cable-Driven Parallel Robot CaRISA: A Cable Robot for Inspecting and Scanning Artwork', in Venture, G., Solis, J., und Takeda, Y. (eds) *ROMANSY 23 - Robot Design, Dynamics and Control. ROMANSY 2020. CISM International Centre for Mechanical Sciences (Courses and Lectures), vol 601. Springer, Cham.*, pp. 136–144. doi: 10.1007/978-3-030-58380-4\_17.