

# Das MUSICES-Projekt: Entwicklung eines Standards zur Computertomographie von Musikinstrumenten

Für alle Interessierten, die sich mit Musikinstrumenten beschäftigen – ob Wissenschaftler/-innen, Musiker/-innen, Instrumentenbauer/-innen oder Restaurator/-innen – ist die innere Struktur der Instrumente, das nicht von außen Sichtbare, von großem Interesse. Informationen über den Aufbau und die Konstruktion von Musikinstrumenten können Aussagen über die Herstellungsweise, den Erhaltungszustand und unter Umständen auch über klangliche Eigenschaften liefern. Röntgenbilder können verborgene Schäden sichtbar machen oder als Vorlage für den Bau klingender Kopien dienen, wenn das originale Instrument nicht mehr gespielt werden kann. Das zerstörungsfreie bildgebende Verfahren der Computertomographie ist ein mächtiges Werkzeug, das Einsichten in verborgene Bereiche ermöglicht. Das DFG-Projekt MUSICES (MUSical Instrument Computed tomography Examination Standard) entwickelt in einer dreijährigen Laufzeit einen Standard zur Computertomographie von Musikinstrumenten. Durch die Kooperation von Wissenschaftler/-innen und Restaurator/-innen des Germanischen Nationalmuseums mit dem Fraunhofer Institut EZRT (Entwicklungszentrum Röntgentechnik) in Fürth werden gemeinsam die technischen Parameter, geeignete Praxisabläufe sowie die Möglichkeiten und Grenzen dieser Technik intensiv erarbeitet. Schließlich werden die Ergebnisse über eine öffentlich zugängliche Datenbank abrufbar sein. Im Laufe des Projekts werden insgesamt 105 verschiedene Instrumente untersucht. Die Auswahl soll repräsentativ für die Vielfalt dieser Objektgruppe sein, die eine kleine Elfenbeinflöte genauso einschließt wie ein großes Hammerklavier. Instrumente sind aus ganz unterschiedlichen Materialien hergestellt, besitzen teilweise sehr anspruchsvolle geometrische Formen und existieren in allen Größen. Durch diese Diversität sind die Erkenntnisse des Projekts auf viele andere Objektgruppen übertragbar.

## Wie funktioniert 3-D-Computertomographie?

Für die Untersuchung der Musikinstrumente kommt die sogenannte industrielle Computertomographie zum Einsatz, die in der Regel zur Material- und Bauteilprüfung industriell hergestellter Produkte bemüht wird, um beispielsweise in Gussteilen Lunker zu bestimmen oder nach Belastungstests Schwachstellen zu identifizieren. Diese Technik unterscheidet sich von der medizinischen Computertomographie vor allem im Aufbau der Anlage. Bei der auf den Menschen ausgerichteten Maschine wird ein Patient auf einer Liege platziert und durch eine „Röhre“

geschoben. In dieser befinden sich eine Röntgenquelle und ein Detektor, die einander gegenüberliegend um den Patienten rotieren. Auf diese Weise werden viele einzelne Röntgenbilder aufgenommen, aus denen mit einem speziellen Algorithmus ein 3-D-Datensatz berechnet wird. Bei der industriellen Computertomographie sind Röntgenquelle und Detektor fixiert, das Objekt steht dazwischen auf einem Drehteller (Abb. 1). Der Röntgenstrahl wird in der Röntgenröhre erzeugt, durchdringt das langsam rotierende Objekt und wird je nach Material unterschiedlich geschwächt. Der abgeschwächte Strahl erreicht den Detektor, der die unterschiedlich starken Signale empfängt und in Graustufen umwandelt. Die Schwächung des Strahls durch das Material erfolgt gemäß dem sogenannten Lambert-Beerschen Gesetz, das besagt, dass die Schwächung von der Materialdicke und der Materialstärke abhängt. Um dichte Materi-

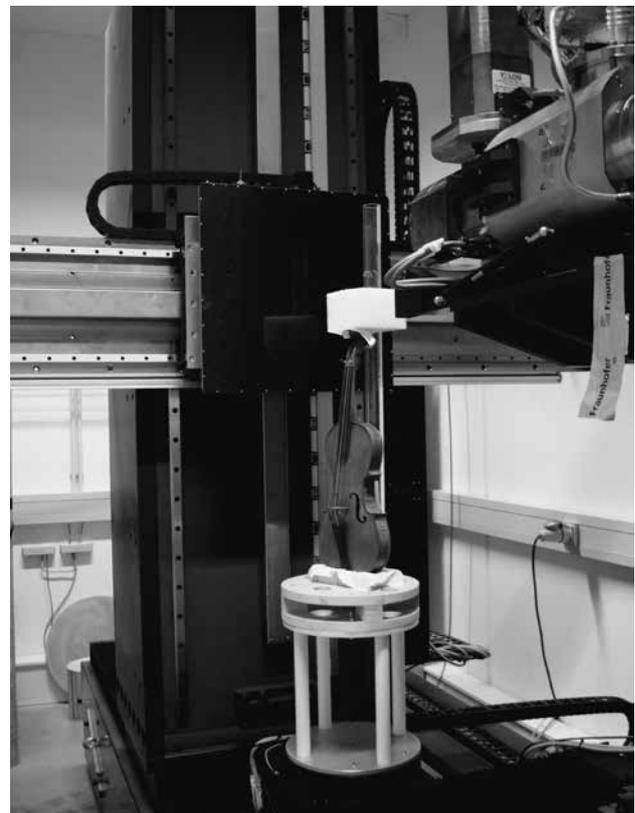


Abb. 1: Eine industrielle CT-Anlage: Das Objekt (Inv. Nr. MI 419) steht auf einem Drehteller zwischen Röntgenquelle und Flachbilddetektor (Foto: Fraunhofer EZRT / GNM).

alien oder große Materialstärken zu durchdringen, braucht man also einen starken Röntgenstrahl, d.h. hohe Energie. Da Instrumente oft aus verschiedenen Materialien mit ganz unterschiedlichen Dichtewerten bestehen (z.B. eine Klarinette aus Holz mit Metallklappen), ist es eine Aufgabe des Projekts, für derartige Objekte die optimalen Einstellungen zu ermitteln.

Der Detektor einer industriellen CT-Anlage besitzt in der Regel eine Größe von 40 x 40 cm. Sind Instrumente größer, kann er verschoben werden, um das ganze Objekt abbilden zu können. Durch die Anlagengeometrie und die leistungsstarken Detektoren werden sehr hohe Auflösungen erreicht. So können in den fertigen Bildern etwa Teile im Inneren des Instruments am Bildschirm mit hoher Präzision vermessen werden.

### Konservatorische Begleitung

Alle Instrumente müssen zur Untersuchung nach Fürth transportiert werden. Das Klima in der Messkammer muss reguliert und der Aufbau auf dem Drehteller wackelfrei gewährleistet werden. Für alle konservatorischen Aspekte, die den Transport, die Montage und die Begleitung während der Messung betreffen, wird ein Arbeitsablauf entwickelt, der sämtliche wichtigen Überlegungen einschließt und am Ende des Projekts in Form eines Best-Practice-Guides als Ratgeber für zukünftige Messungen dienen kann. In diesem Zuge wurde z.B. eine universell einsetzbare Halterung entwickelt, die möglichst wenig zusätzliches Material in den Strahlengang bringt, jedoch die feste Montage vieler unterschiedlicher Instrumente mit einfachen Mitteln gewährleisten kann. Zur Stabilisierung der Objekte kommen u.a. Vakuumkissen aus der Medizintechnik zum Einsatz. Manchmal müssen aber auch individuelle Lösungen gefunden werden, um den Transport und die Messung konservatorisch einwandfrei abwickeln zu können.

### Bildgebung und Datenverarbeitung

Im komplexen Maschinenpark des Fraunhofer-Instituts stehen verschiedene Anlagen zur Untersuchung von Objekten mit unterschiedlicher Größe oder Materialzusammensetzung zur Verfügung. Kleinere Instrumente wie Geigen, Flöten oder auch Zinken und Krummhörner bis hin zu einer Viola da Gamba können auf einer gängigen Anlage untersucht werden. Die Messungen dauern meist einige Stunden und ergeben relativ große Datenmengen, die vom Volumen des Instruments und der angestrebten Auflösung abhängen. Der Datensatz einer Geige (Messzeit 4,5 Stunden) mit einer Ortsauflösung von 87  $\mu\text{m}$  hat beispielsweise eine Größe von 56 GB (Abb. 2). Bei diesen Dateigrößen sind leistungsstarke Rechner sowie das KnowHow der entsprechenden Software zur Auswertung der Bilder notwendig.

Europaweit einzigartig ist ein Linearbeschleuniger, mit dem man beim Fraunhofer-Institut in Fürth auch sehr große Objekte wie Schiffscontainer und Autos untersuchen kann. Im Rahmen des Projekts wurden mit diesem Hochleistungs-

gerät schon ein Tafelklavier (Christian Gottlob Hubert, Inv. Nr. MIR 1145) und ein Hammerflügel von Pleyel (Inv. Nr. MIR 1126) mit dieser XXL-Anlage untersucht (Abb. 3).

Ein Ziel des Projekts ist, alle erforderlichen Metadaten in einer Datenbank festzuhalten, langzeitzuarchivieren und öffentlich zugänglich zu machen. In dem entwickelten Metadatenmodell werden alle Schritte dokumentiert. Gleichzeitig dient die Datenbank als Kommunikationsplattform zwischen den beteiligten Institutionen. Die Datenbank basiert auf der in Kooperation des Germanischen Nationalmuseums mit der Universität Erlangen entwickelten wissenschaftlichen Kommunikationsinfrastruktur WissKI. Die Datenerfassung ist nach dem ISO-Standard CIDOC-CRM

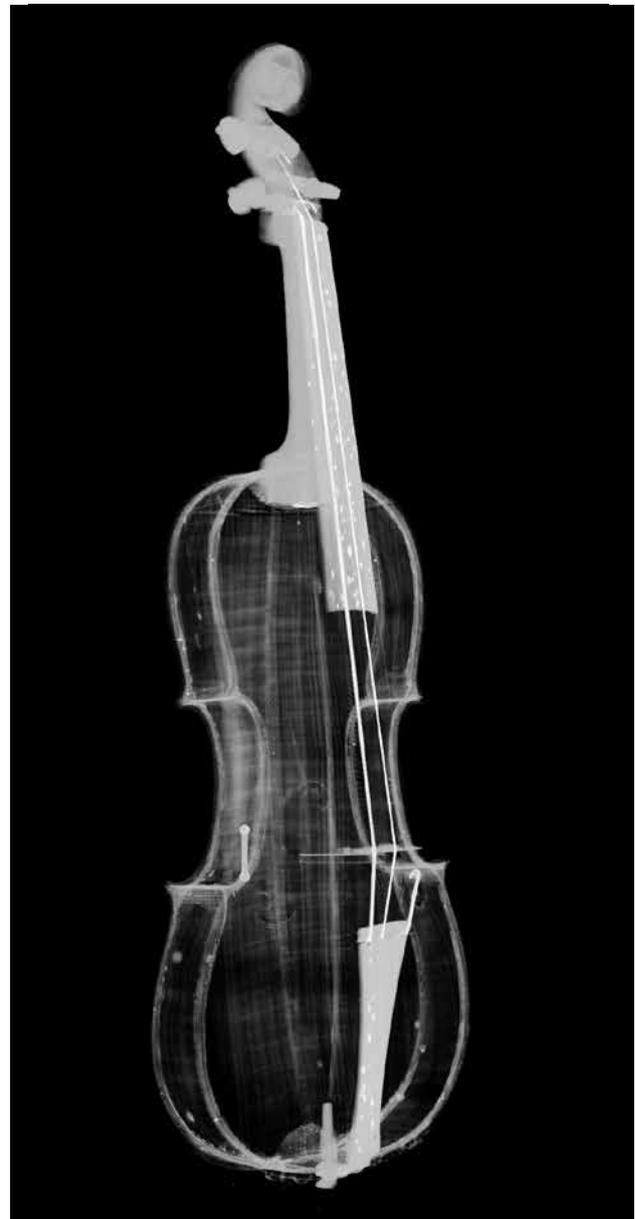


Abb. 2: 3-D-Röntgenbild einer Geige von Matthias Hummel, Nürnberg 1681 (Inv. Nr. MI 419, Foto: Fraunhofer EZRT/GNM).



leistet. Bei jedem Scan werden Bildgüteprüfkörper in der Nähe des Objekts positioniert, um die nötige Vergleichspräzision zu ermöglichen. Der geeichte Referenzkörper dient als Kontrolle, wenn etwa Strecken am Bildschirm gemessen werden (z.B. die Innenbohrung bei Flöten). Auch die Abstände der Jahresringe im Holz können ermittelt und mit diesen Daten eine dendrochronologische Datierung durchgeführt werden. Der Datensatz hält die Möglichkeit bereit, Schnittbilder in jede Richtung zu erstellen sowie ein errechnetes 3-D-Modell zu betrachten (Abb. 4). Zurzeit sind im Rahmen der Leibniz-Ausstellung erste Ergebnisse in der Dauerausstellung Musik zu sehen. Da der im Instrumentenbau verwendete Holz- oder Knochenleim im Röntgenbild sehr gut sichtbar ist, werden verborgene Reparaturen und Veränderungen an Musikinstrumenten im 3-D-Datensatz nachvollziehbar. Des Weiteren können die Daten als Grundlage für ein 3-D-Modell dienen, das man einerseits durch 3-D-Druck in verschiedenen Materialien reproduzieren, andererseits als Ausgangspunkt für die maschinelle Fertigung von Bauteilen durch CNC-Fräsen nutzen kann. Die Anwendungsbereiche dieser Technik sind vielfältig. Vor allem aber dienen die Bilder der Unterstützung der Erforschung der Instrumente und der Beurteilung des konservatorischen Zustandes. Der Standard kann helfen, zukünftige Scans zielgerichteter und kostengünstiger durchzuführen und schließlich hochwertig komparable Ergebnisse zu erzielen.

- SEBASTIAN KIRSCH<sup>1</sup>, FRANK P. BÄR<sup>1</sup>, THEOBALD FUCHS<sup>2</sup>, CHRISTIAN KRETZER<sup>2</sup>, MARKUS RAQUET<sup>1</sup>, GABRIELE SCHOLZ<sup>2</sup>, REBECCA WAGNER<sup>2</sup>, SARAH WAGNER<sup>1</sup>, MEIKE WOLTERS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg

<sup>2</sup> Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT), Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Fürth

#### Literatur:

Klaus Martius: Computertomographie und ihr Einsatz in der Dokumentation von Musikinstrumenten. In: Arbeitsblätter für Restauratoren, Gruppe 13 Musikinstrumente 1, 1992, S. 138–143. – Terry Borman, Berend Stoel: Review of the Uses of Computed Tomography for Analyzing Instruments of the Violin Family with a focus on the future. In: Journal of the Violin Society of America, VSA Papers 22, 2009, S. 1–12. – Beatrix Darmstädter (Hrsg.): Die Krummhörner und die Windkapselschalmel. Wien 2009. – Sebastian Kirsch u.a.: The MUSICES-Project: Towards a Standard for 3D-computed Tomography of Musical Instruments. In: Michael Kaliske u.a. (Hrsg.): Analysis and Characterization of Wooden Cultural Heritage by Scientific Engineering Methods. Dresden 2016, S. 131–141.