

## 4.5 Reflectance Transformation Imaging (RTI)

*M. Trognitz*

Reflectance Transformation Imaging (RTI) ist eine computergestützte Fotografiemethode, mit der Polynomial Texture Maps (PTM) erzeugt werden können. Dazu werden von einem Objekt mehrere Bilder mit fixierter Kameraposition und variable Beleuchtungspositionen gemacht, die anschließend vom Computer zusammengerechnet werden. In der resultierende Datei kann die Position der Lichtquelle verändert werden, um beispielsweise die Oberfläche des aufgenommenen Objekts im Schräglicht untersuchen zu können.

RTI ist eine vergleichsweise junge Methode, die inzwischen aber im Bereich der Felsbilderdokumentation eine weite Verbreitung gefunden hat.

**Langzeitformate** Die Aufnahmen für RTI erfolgen mit einem Fotoapparat, weshalb man es bei der Archivierung hauptsächlich mit Rastergrafiken zu tun hat. Ausführliche Hinweise zu geeigneten Langzeitformaten sind in dem Kapitel Rastergrafiken ab Seite 76 zu finden.

Zusätzlich müssen die resultierenden softwareabhängigen Dateien für die Archivierung berücksichtigt werden. Die Formate für RTI wurden in den Hewlett-Packard-Laboratories entwickelt und von Cultural Heritage Imaging (CHI) erweitert und ergänzt.

Format	Begründung
DNG	Die originalen Aufnahmen sollten, wenn sie in RAW aufgenommen wurden, als DNG gespeichert werden.
✓ TIFF	Werden die originalen Aufnahmen nicht in RAW aufgenommen, sollten sie möglichst unverändert als TIFF-Datei gespeichert werden. Werden die Aufnahmen vor der RTI-Prozessierung erheblich bearbeitet (z.B. Freistellung des Objektes), sollten diese Bilder gesondert ebenfalls als TIFF-Datei gespeichert werden.
JPG	Die meisten Programme zur Erzeugung von RTI-Dateien benötigen Bilder im JPG-Format, welche in diesem Fall auch in dem Format archiviert werden können. Die Programme erzeugen auch
XML	Alle Informationen und Projektdateien werden in einer XML-Datei zusammengefasst, die automatisch von dem Programm erzeugt wird.
LP	In der textbasierten LP-Datei (light position file) werden die Positionen der Lichtquelle für jedes einzelne Bild gespeichert. Sie wird automatisch von den Programmen erzeugt, kann aber auch manuell erstellt werden.

PTM	Das Format Polynomial Texture Map wurde in den Hewlett-Packard-Laboratories entwickelt und speichert für jedes Pixel eine Funktion, mit der die Farbwerte des Pixels in Abhängigkeit der Lichtquelle errechnet werden können.
RTI	Das RTI-Format wurde von CHI entwickelt und bietet im Vergleich zu PTM erweiterte Funktionalitäten im RTIViewer von CHI.
XMP	Der RTIViewer von CHI erlaubt Annotieren der Dateien, um beispielsweise besondere Bildbereiche hervorzuheben. Diese Informationen werden in einer textbasierten XMP-Datei gespeichert.

---

**Ordnerstruktur** Zwar kann eine PTM- oder RTI-Datei ohne zusätzliche Dateien verwendet werden, jedoch sollte für die Nachnutzbarkeit und Nachvollziehbarkeit das gesamte Datenpaket archiviert werden. Dabei sollten alle Daten nicht lose in einem einzelnen Ordner, sondern in einer sinnvollen Ordnerstruktur abgelegt werden. In der folgenden Tabelle wird eine solche Struktur vorgeschlagen und auch die entsprechenden Dateitypen darin gelistet.

Die Benennung der Ordner ist hier als Vorschlag zu betrachten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass einige Ordner und Dateien von der Software erzeugt werden und diese auch so belassen werden müssen, um von wieder mit dem Programm geöffnet werden zu können. Die Struktur orientiert sich an den Vorgaben von Cultural Heritage Imaging (CHI) und der von dem Programm *RTIBuilder* erzeugten Dateistruktur.

---

## Ordnerstruktur und enthaltene Dateiformate

---

- 📁 Projekt RTI-Aufnahmen
  - 📁 Inventarnummer 001
  - 📁 Inventarnummer 002
    - 📄 .xml
    - 📁 original-captures
      - 📄 .dng
    - 📁 altered-captures
      - 📄 .tiff
    - 📁 jpeg-exports
      - 📄 .jpg
    - 📁 cropped-files
      - 📄 .jpg
    - 📁 assembly-files
      - 📄 .jpg
      - 📄 .lp
    - 📁 finished-files
      - 📄 .ptm
      - 📄 .rti
      - 📄 .xmp
  - 📁 Inventarnummer 003

*Die gesamten Aufnahmen sollten in einem Übergeordneten Verzeichnis mit dem Projektnamen gespeichert werden. Für jedes aufgenommene Objekt muss ein übergeordneter Ordner angelegt werden, der am besten den Namen oder die Inventarnummer des Objektes in der Benennung enthält. Die Ordner 'cropped-files', 'assembly-files' und 'finished-files' werden von den Programmen automatisch erzeugt.*

**Dokumentation** Neben den allgemeinen minimalen Angaben zu Einzeldateien, wie sie in dem Abschnitt Metadaten in der Anwendung ab Seite 34 gelistet sind, erfordern RTI-Daten Angaben, die Aufschluss über die Aufnahmemethode und deren Umstände geben.

Speziell für die freihändige RTI-Aufnahme mittels Highlight-RTI gibt es von Cultural Heritage Imaging einen *Shooting-Log*, der in angepasster Form auch für andere Aufnahmemethoden verwendet werden kann. Eine Vorlage hierfür wird online in den IT-Empfehlungen zur Verfügung gestellt. Es empfiehlt sich diese Übersicht schon während der Aufnahme der einzelnen Objekte auszufüllen.

Metadatum	Beschreibung
Projektordner	Name des Verzeichnisses in dem alle Aufnahmen gespeichert werden.
Kamera und Objektiv	Modell und Name der Verwendeten Kamera, sowie Details zu dem verwendeten Objektiv.
Verzeichnisname	Der Name des Verzeichnisses in dem die Unterverzeichnisse mit den originalen Aufnahmen, prozessierten Bildern und Ergebnisdateien liegen.
Sammlung	Name der Sammlung, der das aufgenommene Objekt angehört.
Aufbewahrungsort	Aufbewahrungsort des aufgenommenen Objektes (subject location)
Rechte	Rechte für die Aufnahme, z.B. CC-BY 3.0
Katalog- oder Inventarnummer	Eindeutige Bezeichnung des Objektes, wie beispielsweise die Inventarnummer.
Beschreibung	Kurze Beschreibung des Objektes.
Aufnamemethode	Angabe der verwendeten Methode wurde verwendet, um die RTI-Aufnahme zu erstellen. Beispielsweise feste Kuppel, Highlight-RTI (H-RTI) oder „Lichtarm“.
Anzahl der Bilder	Anzahl der für das finale RTI verwendeten Bilder.
Radius oder Schnurlänge	Radius der verwendeten Kuppel oder des Armes. Wenn H-RTI angewandt wurde, muss die Länge der Schnur angegeben werden, also der virtuelle Radius der Kuppel. Die Angabe erfolgt in cm.
Größe der Sphäre	Durchmesser in cm oder mm der verwendeten Sphäre, wenn H-RTI angewandt wurde.
Lichtquelle	Anzahl und Typ der Lichtquelle, sowie deren Einstellung für beispielsweise Leistung. Beispielsweise Canon Speedlite 580 EX II, 1/4 Leistung
Aufnahmeteam	Namen der Personen, die an der Aufnahme beteiligt waren.
Farbkarte	Wenn eine Farbkarte verwendet wurde, soll angegeben werden, ob sie in jeden Bild vorhanden ist oder nur in einem separaten Bild. Wenn ein Farbprofile verwendet wurde, kann dieses hier angegeben werden.
Kamerafilter	Auflistung aller für die Aufnahme verwendeten Filter, wie etwa Graufilter, Bandpassfilter oder Infrarotfilter.)
Testbilder	Angabe der Dateinamen aller nicht für die Erstellung der RTI-Datei verwendeten Bilder, die jedoch weiterhin beibehalten werden, wie beispielsweise das Bild mit der Farbkarte.
Notizen	Weitere Angaben zum Aufnahmeaufbau und besonderen Vorkommnissen.
Weitere Dateien	Liste weiterer Dateien, wie beispielsweise des Shooting-Logs.

## Vertiefung

Reflection Transformation Imaging (RTI) erzeugt Polynomial Texture Maps (PTMs), in denen für jedes Pixel Informationen über die Reflexionseigenschaften der Oberfläche gespeichert werden. Die erzeugten interaktiven Dateien werden aus einem Bilderstapel errechnet, wo in jedem Bild die Kameraposition unverändert ist, während die Richtung, aus der das Licht kommt jeweils wechselt.

Mit speziellen Viewer-Programmen, können die Daten angesehen werden und die aufgenommenen Objekte interaktiv aus jeder Richtung beleuchtet werden. Zusätzlich bieten die Programme unterschiedliche Algorithmen, um bestimmte Oberflächeneigenschaften, wie Kanten oder Risse, optisch hervorzuheben, die unter natürlichen Bedingungen nicht oder nur schwer erkennbar sind.

Für die Erstellung von RTI-Daten können unterschiedliche Aufnahmemethoden verwendet werden, die unterschiedliche Ausrüstung voraussetzen, wobei das Grundprinzip dahinter jeweils immer das gleiche ist.

**Polynomial Texture Map** Ein Polynomial Texture Map (PTM) ist ein Repräsentationsform von Bildern mit Hilfe von Funktionen, statt einzelner Farbwerte. Im Gegensatz zu Rastergrafiken werden für die einzelnen Pixel von PTMs nicht nur feste Farbwerte gespeichert, sondern zusätzlich eine Funktion, die mit Hilfe der Parameter  $l_u$  und  $l_v$  die Leuchtdichte der Oberfläche berechnet. Die Leuchtdichte bestimmt wie das menschliche Auge eine Oberfläche wahrnimmt, also ob sie besonders hell, dunkel, spiegelnd oder matt erscheint.

Die Parameter  $l_u$  und  $l_v$  spezifizieren wo sich eine punktförmige Lichtquelle befindet. Wird die Lichtquelle bewegt, ändern sich die Parameter und somit auch der errechnete Farbwert für den jeweiligen Pixel. Somit kann ein PTM simulieren, wie ein Objekt bei wechselnder Beleuchtungsrichtung aussieht.

Ganz vereinfacht lässt sich das Prinzip hinter RTI in der untenstehenden Abbildung visualisieren. Für jeden Punkt einer dreidimensionalen Oberfläche kann eine Normale bestimmt werden. An dieser Normale wird einfallendes Licht im gleichen Winkel reflektiert (Reflexionsgesetz). Da die Kamera sich in einer festen Position befindet, die Richtung aus der das Licht kommt ebenfalls bekannt ist und es einen Bilderstapel mit unterschiedlichen Lichtpositionen gibt, kann für jeden Bildpunkt eine Oberflächennormale berechnet werden. Wird die fertige RTI-Datei betrachtet und die Beleuchtung geändert, können die angezeigten Farbwerte der einzelnen Punkte anhand des gespeicherten Farbwertes, der errechneten Normalen und dem Einfallswinkel berechnet und ausgegeben werden.

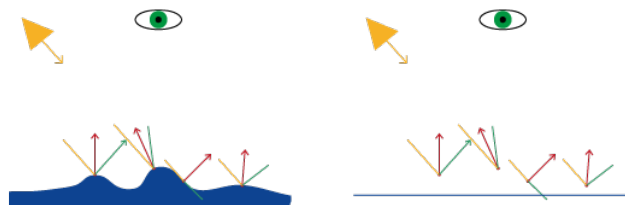


Abb. 4.1: Diese Grafik ist noch nicht ganz fertig.... und einen Beschreibungstext werde ich auch noch einfügen.

**Aufnahmemethoden** Das Grundprinzip für RTI-Aufnahmen besteht in der immer gleich bleibenden Position der Kamera in Bezug auf das Objekt und der wechselnden Position der Lichtquelle. Bei der Lichtquelle muss der Abstand zu dem Objekt immer der gleiche sein, um eine konstante Lichtintensität zu gewährleisten, und zusammen betrachtet sollten die jeweiligen Positionen so gewählt werden, dass sie gleichmäßig um das Objekt herum verteilt sind. Für die Positionierung der Lichtquellen, wurden unterschiedliche Methoden und Ausrüstungsteile entwickelt, die in der nebenstehenden Abbildung zusammengefasst dargestellt sind.

Bei der Aufnahme mit einer Kuppel (engl. *dome*) wird eine Kuppel so über das Objekt platziert, dass dieses in der Mitte liegt. Die Kamera wird ebenfalls mittig der Kuppel direkt über dem Objekt platziert. An der Kuppel können Lichtquellen, wie etwa LEDs befestigt sein, wobei bei jedem Bild jeweils nur eine eingeschaltet wird. Es gibt auch Kuppeln, die statt fest eingebauter Lichtquellen nur Markierungen für eine manuelle Platzierung der Lichtquelle haben. Die Position der Lichtquellen ergeben sich aus den Abmessungen der Kuppel und müssen in dem Programm eingetragen werden.

Eine vereinfachte Form der Kuppeln sind gebogene Arme, mit daran befestigten Lichtquellen, wie etwa externen Blitzgeräten. Dieser Arm kann um das Objekt herum rotiert werden, so dass am Ende der Aufnahme die kuppelförmige Verteilung der Lichter erzielt wird. Auch hier kann die Position der Lichtquellen aus den Abmessungen des Armes und dem Rotationswinkel berechnet werden.

Eine sehr flexible Methode wurde von Cultural Heritage Imaging entwickelt. Hierfür wird nur ein Blitzgerät (oder eine andere Lichtquelle) benötigt. An dem Gerät wird eine Schnur befestigt, mit der man das Gerät so auf das Objekt richten kann, dass der Abstand immer der gleiche ist und das Licht auch direkt auf das Objekt gerichtet ist. Auf diese Weise kann man sich an einer imaginären Kuppel entlang orientieren. Um die Position der Lichtquelle errechnen zu können, wird neben das Objekt eine schwarz glänzende Kugel platziert, die auch auf jedem Bild zu sehen sein muss. Aus den Reflexionspunkten des Lichtes an der Kugel kann das Programm dann die Richtung aus der das Licht kommt berechnen.

## Praxis

In diesem Abschnitt werden Programme vorgestellt, mit denen RTI-Daten erstellt und betrachtet werden können.

**Aufnahme und Erstellung von RTI-Daten** Für die Aufnahme und Erstellung von RTI-Daten gibt es zwei frei verfügbare Programme. Das eine ist das *PTM Fitter Programm*, welches an den Hewlett-Packard-Laboratories entwickelt wurde und zugleich auch das erste Programm ist, dass diese Art von Daten erstellen konnte. Es kann auf allen gängigen Betriebssystemen verwendet werden. Das zweite Programm, *RTIBuilder*, stammt von CHI und ist für Windows und Mac verfügbar. CHI stellt weitere Materialien zur Erstellung von RTI-Daten zur Verfügung und deren Webangebot dient als zentrale Anlaufstelle für alles rund um RTI und ist bietet ebenfalls ein Forum für aktive Anwender an.

RTIBuilder:

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/Process/index.html](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html)

Weiteres Material von CHI:

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/)

PTM Fitter Program:

<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/download.html>

**Ansicht von RTI-Daten** RTI-Daten können nur mit speziellen Viewer-Programmen betrachtet werden. Die Hewlett-Packard-Laboratories und CHI bieten die *PTM Viewer Application* und den *RTIViewer* an, die frei verfügbar sind. Der *RTIViewer* von CHI bietet erweiterte Funktionalitäten, wie beispielsweise die Annotation von Dateien.

Für eine Präsentation der Daten auf Webseiten kann der *WebRTIViewer* empfohlen werden, der an dem Visual Computing Laboratory von CNR-ISTI in Pisa entwickelt wurde.

PTM Viewer Application:

<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/download.html>

RTIViewer:

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/View/index.html](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/View/index.html)

WebRTIViewer:

<http://vcg.isti.cnr.it/rti/webviewer.php>

## Quellen

Cultural Heritage Imaging:

<http://culturalheritageimaging.org/>

Hewlett-Packard-Laboratories, PTM:

<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/>

S. Duffy – P. Bryan – G. Earl – G. Beale – H. Pagi – E. Kotouala, Multi-light Imaging for Heritage Applications (2013)

<https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/multi-light-imaging-heritage-applications/>

T. Malzbender – D. Gelb – H. Wolters, Polynomial Texture Maps, in: Proceedings of ACM Siggraph 2001 (2001)

<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/papers/ptm.pdf>

## Formatspezifikationen

PTM:

<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/PtmFormat12.pdf>

RTI:

[http://forums.culturalheritageimaging.org/index.php?app=core&module=attach&section=attach&attach\\_id=81](http://forums.culturalheritageimaging.org/index.php?app=core&module=attach&section=attach&attach_id=81)

## Tools und Programme

RTIBuilder:

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/Process/index.html](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html)

Weiteres Material von CHI:

*[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/)*

PTM Fitter Program:

*<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/download.html>*

PTM Viewer Application:

*<http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/download.html>*

RTIViewer:

*[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/View/index.html](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/View/index.html)*

WebRTIViewer:

*<http://vcg.isti.cnr.it/rti/webviewer.php>*