

S. 3D-Darstellungen in virtuellen Forschungsumgebungen

→ 3D-Visualisierung, Annotationen, Bildvergleich, Digitale Nachhaltigkeit, Kommentare, Reflection Transformation Imaging (RTI), Regionen in Bilddarstellungen, Reproduzierbarkeit digitaler Darstellungen, Virtuelle Forschungsumgebung, WebGL, Zitierfähigkeit im Digitalen

Das Visualisieren von 3D-Objekten gehört heute zu den Standardanwendungen in der Welt der Computer. Meist werden solche 3D-Objekte in dedizierten Applikationen oder auch in einem Browser dargestellt. Heutige Webbrowser wurden durch die WebGL Technologie deutlich erweitert und sie erfuhren eine signifikante Leistungssteigerung. Dies führt dazu, dass die visuelle Qualität von Renderings digitaler Objekte ebenfalls besser und realitätsgetreuer wurde. Webapplikationen können aber weit mehr, als nur unterschiedliche Medien-Objekte darstellen. Vor allem in der Forschung stellen heute virtuelle Forschungsumgebungen (Virtual Research Environment, VRE) eine wichtige Neuerung dar, um mit digitalen Quellen optimal arbeiten zu können. In den Geisteswissenschaften ist das Vernetzen und in Kontext setzen unterschiedlicher Quellen von grosser Wichtigkeit, um dadurch z. B. die qualitative Datenanalyse zu verbessern. Hilfsmittel wie grafisch markierte Regionen (region of interest, RoI) und Annotationstools erlauben es zudem, Erkenntnisse mit anderen Forschenden zu teilen, sie ebenfalls zu vernetzen und zu kommentieren. Werden solche 3D-Quellen in VREs eingesetzt, spielt die Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle, um sicherzustellen, dass solche Forschungsdaten auch in der Zukunft genutzt werden können. In diesem Text wird gezeigt, welche Bedeutung VREs für die Darstellung und die Bewertung von 3D-Rekonstruktionen besitzen, welche Aspekte für die Nachhaltigkeit essentiell sind.

S.1 Einleitung

Die digitale Revolution ist bereits Teil unserer Geschichte und Computer sind aus unserem Alltag und Berufsleben nicht mehr wegzudenken. Diese Omnipräsenz von Technologie aus der digitalen Domäne ist auch in allen Bereichen der Wissenschaft intensiv zu spüren. In der Frühzeit der Computertechnik wurden erst die Naturwissenschaften von ihr durchdrungen, heute stellt die Computertechnik auch in den Geistes- und Sozialwissenschaften einen wichtigen Pfeiler dar, der unter dem Begriff **Digital Humanities** zusammengefasst werden kann. Die Digital Humanities sind sicherlich eine besondere Herausforderung, da es gilt die Computertechnik in der geisteswissenschaftlichen Forschung so einzusetzen, dass die eigentliche Forschungsarbeit mit einem Mehrwert versehen und unterstützt wird. Dass dieser Mehrwert nicht immer selbstverständlich gegeben ist, wird z. B. dadurch aufgezeigt, dass in der zeitlichen Entwicklung zunächst Originale in grossen Mengen digitalisiert wurden, in einem zweiten Schritt das Problem der schnell eintretenden Obsoleszenz von digitaler Technologie angegangen wurde und erst in einem dritten Schritt die Arbeitswerkzeuge für den Einsatz mit den so generierten und gespeicherten Quellen Beachtung fand. Der vorliegende Text soll vor allem diesen letzten Aspekt ansprechen, da hier die Möglichkeiten der 3D-Visualisierung und auch die Bedeutung der Forschungsarbeit mit digital reproduzierten Objekten besonders stark zum Tragen kommen.

Das Visualisieren von 3D-Objekten gehört heute zu den Standardanwendungen in der Welt der Computertechnik. Vor allem der Bereich des Computer Aided Design (CAD) und der Computerspiele ist heute ohne 3D-Darstellungen undenkbar. In der geisteswissenschaftlichen Forschung ist die Bedeutung von 3D-Objekten noch nicht so gross, das Potential und der Mehrwert aber beträchtlich.

Meist werden 3D-Objekte in dedizierten Applikationen wie z. B. Blender, Maya, 3Ds Max dargestellt, was vor allem das kollaborative Arbeiten erschwert. Die moderne Computertechnologie, wozu auch stark verbesserte Hardware gehört, ist so leistungsfähig, dass selbst komplexere Grafikdarstellungen möglich sind. Auf der Seite der Software ist eine der wichtigsten Technologien OpenGL und dessen browserfähige Weiterentwicklung WebGL **01**, hardwareseitig sind leistungsfähige Grafikkarten mit eigener Rechnerleistung zu nennen, die sogenannten graphics processing units (GPUs). Heutige Webbrowser wurden durch die WebGL-Technologie in ihrem Funktionsumfang massiv erweitert und in Kombination mit GPUs sind selbst mobile Geräte in der Lage, 3D-Grafikinhalte erhöhter Komplexität darzustellen. Auch wenn im Vergleich zu anderen Grafiklösungen WebGL nicht zu den leistungsfähigsten gehört, so ist die Möglichkeit der einfachen Einbindung in einen Webbrowser von entscheidender Wichtigkeit im Kontext der kollaborativen Arbeit mit Forschungsdaten, denn das Web ist das wichtigste Tor zur ortsunabhängigen Zusammenarbeit. Zudem ist heute durch geschicktes caching und mit Auflösungsstufen eine merkliche Verbesserung der Performance zu erreichen, was durch zahlreiche Beispiele wie google chrome experiments **02** oder Projekten wie dem digitalen Basler

■ 01

KHRONOS Webseite, <https://www.khronos.org/webgl/>.

■ 02

Chrome Experiments, <https://experiments.withgoogle.com/chrome>.

■ 03

Digitale Basler Merianplan, <https://web.cadwork.ch/view.php?model=Cities/Basel%20Merian>.

Merianplan ⁰³ deutlich wird. Webapplikationen können aber weit mehr, als nur Objekte darstellen. Vor allem im wissenschaftlichen Kontext stellen webbasierte virtuelle Forschungsumgebungen eine wichtige Neuerung dar, um mit digitalen Quellen optimal arbeiten zu können. Hilfsmittel wie Bereichsmarkierungen (Region of Interest, RoI) und Annotationswerkzeuge erlauben es, Objektdetails, Forschungserkenntnisse und deren Entstehungsgeschichte mit anderen Forschenden zu teilen, sie zu vernetzen und zu kommentieren. Werden die Möglichkeiten von virtuellen Forschungsumgebungen mit dem Mehrwert, den 3D darstellt, kombiniert, bringt dies ganz neue Möglichkeiten für die wissenschaftliche Arbeit durch die Vorteile von räumlich-grafischen Darstellungen. Ein wichtiger Punkt ist hierbei zu nennen: Je umfangreicher und komplexer die Möglichkeiten zur Individualisierung der Betrachtungssituation in einem Webbrowser sind, um so wichtiger ist es auch, dass diese gespeichert werden können. Nur so ist es möglich, dass eine andere Person die identische Darstellung betrachten und nutzen kann.

In der ganzen digitalen Domäne, vor allem aber im Bereich der Wissenschaft spielt Nachhaltigkeit eine bedeutende Rolle. Werden virtuelle Forschungsumgebungen eingesetzt, wird langfristige Sicherung der Daten und deren Zugänglichkeit noch wichtiger, denn es muss sichergestellt werden, dass die vorhandenen Primärdaten und die neu erzeugten Sekundärdaten auch in zukünftige wissenschaftliche Arbeitsprozesse einbezogen werden können; die Zitierfähigkeit muss auch bei solch komplexen Objekten sichergestellt sein.

S.2 Virtuelle Forschungsumgebungen

Prinzipiell kann ein funktionales grafisches **front-end** mit einer Anbindung an eine Datenbanklösung als Virtuelle Forschungsumgebung (engl. Virtual Research Environment, VRE) bezeichnet werden. Ziel einer solchen digitalen Umgebung für die Geisteswissenschaften ist es, übliche Arbeitsabläufe mit digitalen Mitteln möglichst vollständig und zweckdienlich abzubilden ⁰⁴. Dies soll in solch einer Form geschehen, dass die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vertraute Konzepte und Arbeitsmethoden in einer Umgebung intuitiv wiedererkennen und nutzen können. Hierfür sind einige Grundfunktionen notwendig:

- Eine browser-basierte client-server Lösung ist in jedem Fall einer stand-alone Lösung, einer konventionellen Applikation, vorzuziehen. Auf diese Weise kann nicht nur auf ein spezielles Programm verzichtet werden, sondern die Plattformunabhängigkeit ermöglicht mehr oder weniger automatisch ein kollaboratives Arbeiten ⁰⁵.
- Da in vielen geisteswissenschaftlichen Disziplinen intensiv mit Bildmaterial und Objekten gearbeitet wird, bei denen oft spezifische Bereiche (Region of Interest, RoI) hervorgehoben werden sollen, sind entsprechende grafische Elemente notwendig, mit denen sich solche

■ 04

Tobias Schweizer, Lukas Rosenthaler, SALSAB – eine virtuelle Forschungsumgebung für die Geisteswissenschaften, in: Dr. Andreas Bienert, Dr. Frank Weckend, Dr. James Hemsley, Prof. Vito Cappellini (Hg.), EVA 2011 Konferenzband, Berlin 2011, S. 147–153.

■ 05

Lukas Rosenthaler, Entwicklung einer Web 2.0-Applikation zur Präsentation und Erforschung der Basler Frühdrucke, in: Karin Krause und Barbara Schellwald (Hg.), Bild und Text im Mittelalter, Köln 2011.

Bereiche markieren lassen. Diese grafischen Elemente können z. B. Polygon-Linienzüge oder Rechtecke sein, welche die Markierung von Objektpartien erlauben.

- Die in den Geisteswissenschaften gängige und bewährte Methode der Auswertung von Bildmaterial ist eher qualitativer Natur. Diese Arbeitsform erfordert umfangreiche und leistungsfähige Werkzeuge, um beschreibende und kontextuelle Metadaten (Annotationen, Transkriptionen, Kommentare) zu erfassen. Solche Metaobjekte müssen mit dem eigentlichen Primärobjekt verknüpft und auch so gesichert werden können.
- Die Visualisierung in einer VRE muss multimedial sein. Neben Text, Bild, Ton und Video ist es zudem notwendig, Objekte in einem virtuellen 3D-Raum darstellen zu können.

Die Kombination aller oben genannten Punkte stellt eine besondere Herausforderung dar, da ein vollständiger Satz von Metadaten (technische und beschreibend-kontextuelle Informationen), aufgezeichnet und gespeichert werden muss. Nur so kann sichergestellt werden, dass zu jedem beliebigen späteren Zeitpunkt die identischen Untersuchungsbedingungen wieder geladen oder die Einstellungen einem anderen Benutzer im Rahmen der Forschungsarbeit zur Verfügung gestellt werden können. Im 3D-Raum sind diese Anforderungen besonders hoch, da die betrachtende Person eine Vielzahl von Parametern wählen kann, um dadurch eine spezifische Form der Visualisierung festzulegen. So kann zum Beispiel der Point of View (PoV), die Wirkung der Aufnahmeoptik sowie die Anzahl und die Position der Lichtquellen in einem 3D-Raum nahezu beliebig gewählt werden. Das macht es unabdingbar, diese Parameter der Visualisierung ebenfalls zu speichern, um damit die Reproduzierbarkeit einer Betrachtungssituation und Vergleichbarkeit mehrerer solcher Situationen zu gewährleisten. Ebenso wichtig ist eine lückenlose und detaillierte Bearbeitungs-, bzw. Annotations- und Diskussions-History, die zu einem späteren Zeitpunkt aufzeigt, wer welche 3D-Objekte bearbeitete und kommentierte. Neben einer komplexen Datenstruktur für die Speicherung der Metadaten, der Verlinkung und der Einstellungen einer spezifischen Betrachtungssituation ist es wichtig, dass neben einer umfangreichen Benutzer- und Rechteverwaltung auch eine Versionierung unterstützt wird, um so sämtliche Modifikationen benutzerspezifisch transparent und nachvollziehbar aufzeichnen zu können.

The screenshot displays the Salsah workspace interface. At the top, there is a navigation bar with the Salsah logo, a search bar, and user/project information. Below this, a 'Windows' pane contains several active windows:

- Erweiterte Suche:** A search filter window showing filters for 'Merkmalfeld', 'Filterung nach Projekt: glasmalereGE*', and 'Anzahl der Treffer pro Seite: 25'. It indicates 'Insgesamt 5 Treffer'.
- Linkage:** A window showing a relationship between 'Region: Santo diacono martire' and 'Bemaltes Glasfenster: Ella sul carro di fuoco' with the comment 'Hier besteht eine tiefe symbolische Verbindung' and a 'link items' button.
- Santo diacono martire:** A window showing a 3D model of a stained glass window. The metadata includes 'REGION 0', 'Geometrie: polygon', and a comment: 'Rahmen mit hell gefärbten Glaselementen. Das eingelegte rote Band dient als Verzeihung, kann aber auch als Symbol des Märtyrers gelten.'
- Ella sul carro di fuoco:** A window showing a 3D model of a stained glass window. The metadata includes 'REGION 1', 'REGION 2', 'LOCATION: (image)', 'Autor: Tadeo Gaddi', and 'Beschreibung: ca. 1320-1340, fotografie: L. Rosenthaler (27. Feb. 2012)'.

At the bottom of the interface, there is a footer with the text: 'SALSAB V3 © Imaging & Media Lab | Kunsthistorisches Seminar | Universitätsbibliothek | Universität Basel'.

□ 01
Salsah ist ein Beispiel für eine virtuelle, browserbasierte Forschungsumgebung. In der Abbildung sind mehrere Benutzerfenster gezeigt, welche jeweils einzelne Bildobjekte plus die dazugehörigen Metadaten zeigen. (Digital Humanities Lab, Universität Basel)

S.3 Datenmodell

Forschungsdaten können sehr unterschiedlich strukturiert sein. Um diese Strukturunterschiede in einer Forschungsumgebung nutzbar zu machen, ist eine flexible Datenbank Voraussetzung, welche auch die Abbildung komplexer Datenmodelle erlaubt. Diese Flexibilität ist besonders wichtig, da eine solche digitale Infrastruktur generisch genutzt werden soll, d. h. unterschiedliche Projekte und auch Projekttypen sollen in einer solchen Umgebung abgebildet werden. Diese Vereinheitlichung der verwendeten Technologie ist nicht zuletzt für die digitale Langzeitsicherung und -verfügbarkeit von grosser Wichtigkeit.

Beispielhaft kann das Schweizerische Daten- und Servicezentrum für Forschungsdaten DaSCH ⁰⁶ genannt werden, welches am Digital Humanities Lab der Uni Basel betrieben wird. Das DaSCH dient als generische Infrastruktur für datenbankorientierte Forschungsprojekte in den Geisteswissenschaften wo diese Flexibilität sowohl bezüglich der Datenmodelle, als auch der visuellen Repräsentation – also dem GUI – besonders stark gefordert ist. DaSCH muss also in der Lage sein, Projektdaten aus unterschiedlichen Disziplinen der Geisteswissenschaften aufzunehmen, was zum Teil mit einem grösseren Aufwand für die Migration und den Import einhergeht. Dennoch zeigt es sich, dass ein Grossteil der Funktionalitäten fach- und projektübergreifend sind und somit keine prinzipielle Neuentwicklung notwendig ist.

Dies setzt natürlich einen flexiblen und funktional starken Datenbank-Unterbau voraus. Eine sehr gut funktionierende und bewährte Technologie für diese Aufgabe ist auf der Ebene der Datenbank das Resource Description Framework ⁰⁷ (RDF), dessen Ursprung in der Webtechnologie liegt. RDF ist der grundlegende Baustein für das Semantic Web, welches vom World Wide Web Consortium (W3C) standardisiert wurde. Grundsätzlich baut RDF auf sogenannten Tripeln auf, einer logischen Aussage. Mehrere Tripel bilden einen mathematischen Graphen, welcher als RDF-Modell bezeichnet wird. Ein Tripel ist eine Elementaraussage, die aus Subjekt, Prädikat und Objekt besteht. Ein Tripel stellt eine Behauptung dar, in welcher das Subjekt und das Objekt miteinander in Beziehung gebracht werden. Diese Beziehungen sind vom Subjekt zum Objekt gerichtet und mit einem Prädikat versehen. Werden diese RDF-Triples miteinander verknüpft, führt dies zu gerichteten Graphen, welche Datenmodelle unterschiedlicher Komplexität beschreiben können. ⁰²

Wenn in einer virtuellen Forschungsumgebung 3D-Grafikelemente dargestellt werden sollen, so nimmt die Komplexität der Darstellungssituation zu. Das Objekt selbst, also das 3D-Modell ist aufwändiger zu beschreiben als beispielsweise eine Fotografie und auch die Beschreibung der Betrachtungssituation benötigt einiges an Metainformation, um Reproduzierbarkeit sicherzustellen. Solche zusätzlichen Attribute müssen ebenfalls in der VRE gespeichert werden können. Dieses Datenmodell kann zum Beispiel als generisches RDF-Modell, einer Ontologie, formuliert und zur Speicherung genutzt werden ⁰⁸.

■ 06

Data and Service Center for the Humanities (DaSCH), <http://dh-center.ch/>.

■ 07

W3C Semantic Web, <https://www.w3.org/RDF/>.

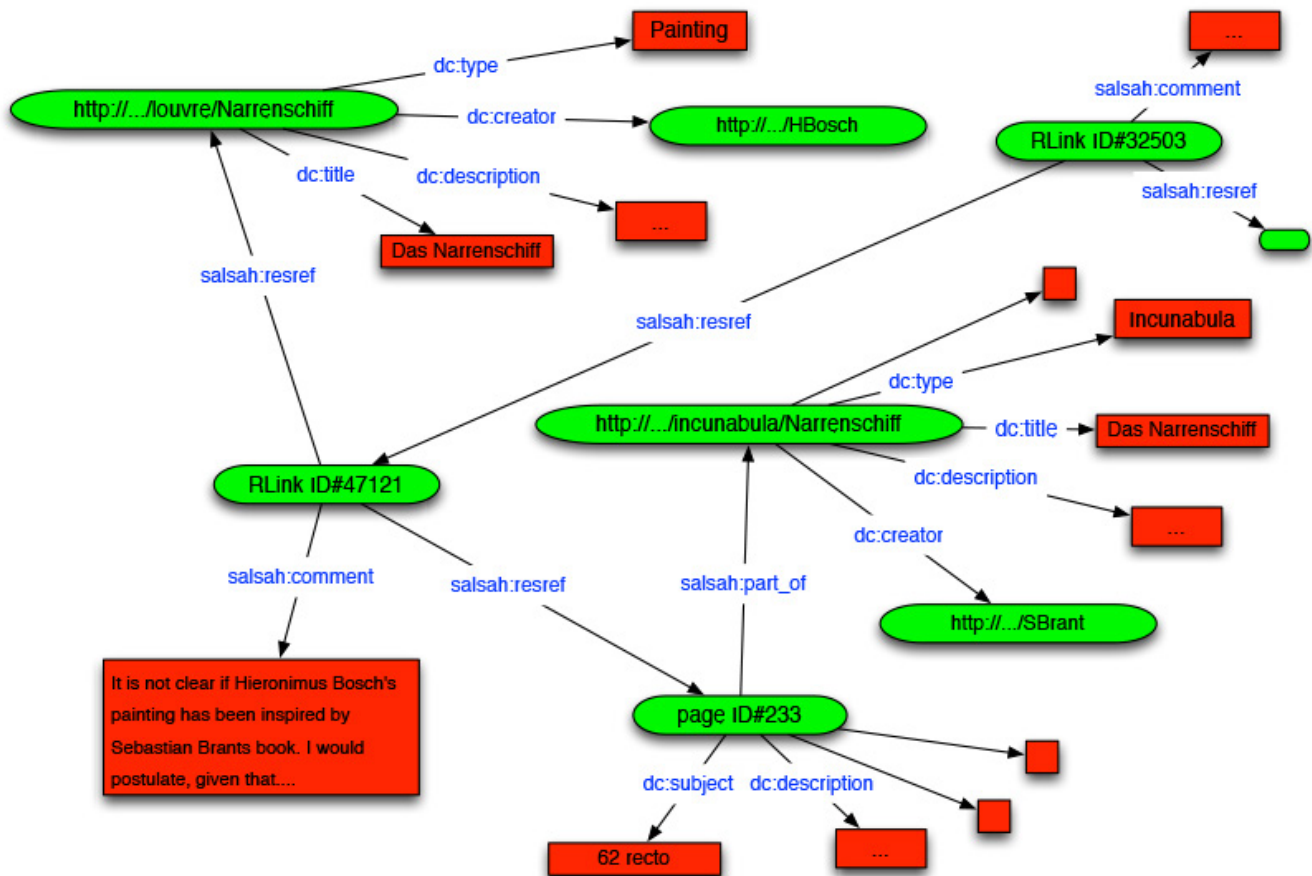
■ 08

Ivan Subotic, Lukas Rosenthaler, Heiko Schult, A Benchmark for RDF-based Metadata Management in Distributed Long-Term Digital Preservation, DESWeb 2012, in: ICDE 2012 Proceedings

So ist es möglich, die Spezifika einer Szene im 3D-Raum vollständig abzubilden, damit basierend auf den gespeicherten Daten und Metadaten eine vollständige Reproduktion der Betrachtungssituation gegeben ist, die sämtliche Parameter beinhalten muss (Kamera, Licht, Objekt, Objekteigenschaften, Bezugssystem, usw).

□ 02

Ein Datenmodell wie es in RDF vorkommen kann. Klar erkennbar ist die gerichtete Struktur des Graphen, was schnell zu komplexen Modell führen kann, die aber nicht unübersichtlich werden und die erweiterbar bleiben. (Digital Humanities Lab, Universität Basel)



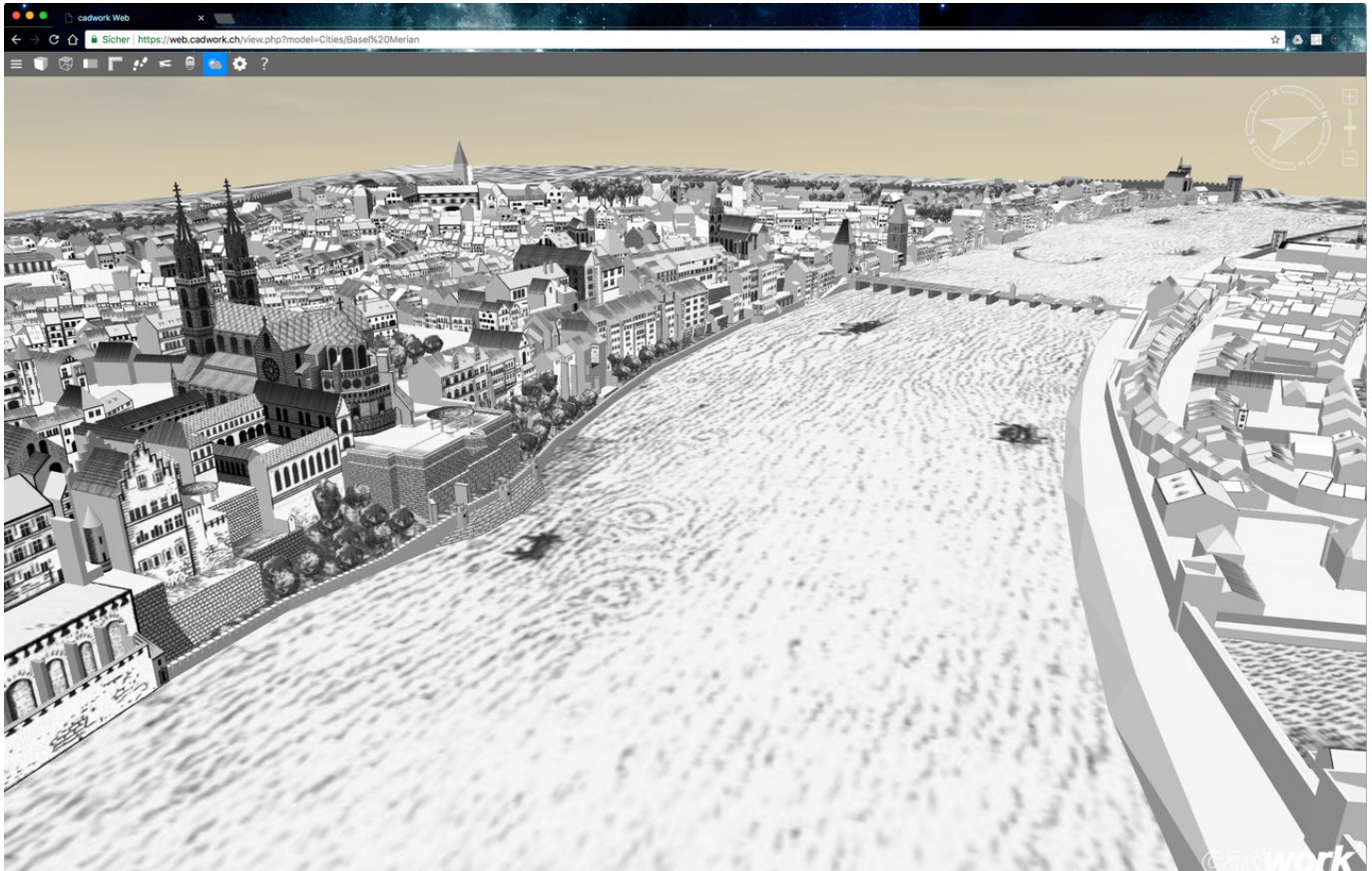
S.4 WebGL

Die Visualisierung von 3D-Objekten in Webbrowsern hat vor allem durch eine Technologie profitiert: WebGL. Diese auf OpenGL basierende Programmierschnittstelle, welche für **embedded systems** bezüglich der Hardwareanforderungen optimiert, d. h. **vereinfacht** wurde, ist heute in fast allen modernen Web-Browsern integriert. WebGL ist ein lizenzfreier Standard, der von der Khronos Group und Mozilla im Zusammenspiel mit der Programmiersprache JavaScript entwickelt wird. Für die Anwendung im Browser heisst dies, dass ohne das Laden von zusätzlichen plug-ins 3D-Funktionalitäten zur Verfügung gestellt werden, deren Leistungsfähigkeit und Funktionsumfang beeindruckend sind. WebGL wird in dieser Form auch auf den meisten mobilen Geräten, wie Smartphones und Tablets, unterstützt, was die Bandbreite des Einsatzgebietes weiter erhöht. Die verbesserte Performance von WebGL erlaubt auch das flüssige interaktive Arbeiten, d. h. lange Renderingzeiten bleiben aus und die Latenz der visuellen Darstellung ist so in einem vertretbaren Rahmen.

WebGL bietet eine Vielzahl von Funktionalitäten, welche von der Darstellung von einfachen Gittermodellen bis hin zu komplex animierten, mit Texturen versehen und beleuchteten Oberflächen reicht. Dass bei diesem grossen Funktionsumfang das Einfügen von grafischen Elementen für die Markierung spezifischer Bereiche problemlos möglich ist, versteht sich vor diesem Hintergrund fast von selbst. Ein Beispiel, welches den Nutzen und die Möglichkeiten von WebGL in einer geisteswissenschaftlichen Anwendung zeigt, ist der Basler Merianplan. Dieser im Original noch immer vorhandene, 400 Jahre alte erste Plan der Stadt Basel wurde von Matthäus Merian d. Ä. aus der Vogelperspektive gezeichnet [03]. Damit sich der Plan explorativ erkunden lässt, wurde er von einem Wirtschaftspartner [09] digitalisiert, um die räumliche Tiefe erweitert und so in WebGL dargestellt, um ihn in jedem modernen Webbrowser rendern zu können.

■ 09

Der Plan wurde im Rahmen einer universitären Kollaboration von der Firma cadwork in Basel nach WebGL portiert und erweitert.



□ 03

Die 3D-Adaption des Basler Merianplans in einem Webbrowser. Der Plan wurde digitalisiert, um räumliche Tiefe erweitert und mit WebGL in einem Browser dargestellt. (Digital Humanities Lab, Universität Basel)

S.5 Reflexion Transformation Imaging RTI

WebGL ist aber nicht nur für das klassische Darstellen von 3D-Objekten in einer Webseite geeignet. Es erlaubt auch die Verknüpfung von ganz unterschiedlichen visuellen Komponenten, wie Texturen, Fotografien und Resultaten von wissenschaftlichen Aufnahmemethoden. Als ein interessantes Verfahren ist hier sicherlich das Reflectance Transformation Imaging (RTI) zu nennen, da es die visuelle Qualität von Oberflächendarstellungen, auch im 3D-Raum, massiv erhöht.

Bei der Beurteilung kulturhistorisch relevanter Objekte ist die Beleuchtung von wesentlicher Bedeutung, denn erst durch die Interaktion von Licht, Oberfläche und Betrachter entsteht der visuelle Gesamteindruck. Wird zum Beispiel der Standort, die Geometrie oder die Farbtemperatur einer Lichtquelle verändert, verändert sich entsprechend auch die Erscheinungsweise des Objekts. Diese Aspekte sind bereits in der planaren Abbildung von Objekten wichtig, in der der Wiedergabe von dreidimensionalen Objekten können sie aber sogar darüber entscheiden, ob eine Darstellung realistisch oder **künstlich** wirkt. Für die Reproduktion von Objekten im 3D-Raum wird Licht ausserdem aktiv dazu eingesetzt, um charakteristische Merkmale der Oberflächenbeschaffenheit von Materialien hervorzuheben, aus denen das Objekt besteht, oder die Rückschlüsse auf den Herstellungsprozess erlauben. Durch eine geeignete Beleuchtung lassen sich zum Beispiel die Pinselstriche eines Gemäldes mit Streiflicht hervorheben oder aber mit mehreren Lichtquellen und geeignetem Einstrahlwinkel nahezu zum Verschwinden bringen.

Ein gutes Beispiel, an dem sich solche Effekte veranschaulichen lassen, ist das Detail einer Wandmalerei in der Ostkrypta des Basler Münsters. 04

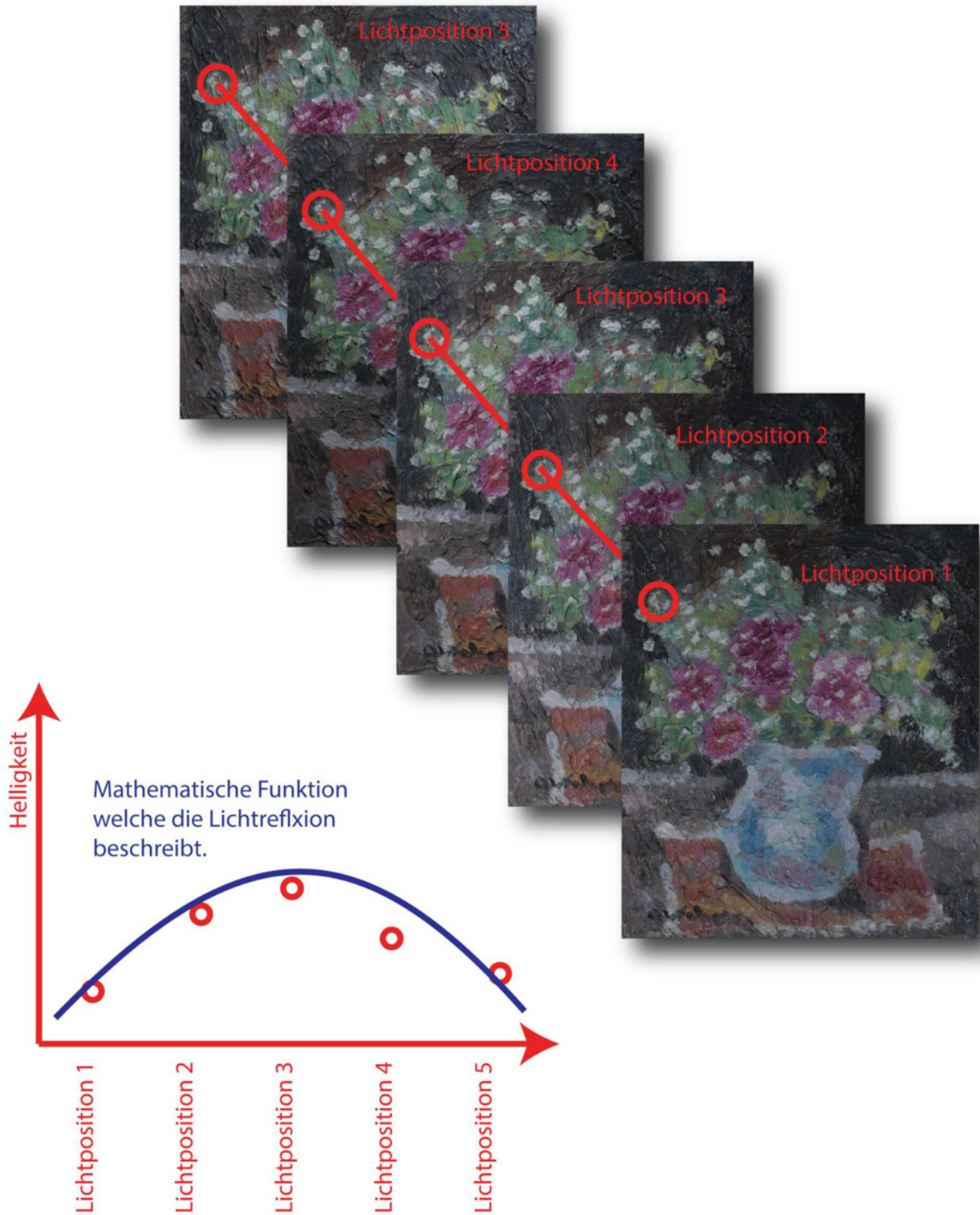


□ 04

Kopf des Bischofs Lüthold von Aarburg,
Detail der Wandmalerei in der Krypta des
Basler Münsters bei normaler Beleuch-
tung und im Streiflicht (Digital Humanities
Lab, Universität Basel)

Der Kopf gehört zu einer um 1200 entstandenen Darstellung zweier Bischöfe, die sich zu beiden Seiten der Mittelapsis befindet. Bei gleichmässiger Beleuchtung kommen das Motiv des dargestellten Kopfs und die dafür verwendeten Farben deutlich zur Geltung (links). Bei Streiflicht zeigt sich jedoch, dass der als Malgrund auf der Wand aufgebrachte Putz, die als Vorzeichnung dienenden Ritzungen und sogar die verwendete Farbe ein spezifisches Oberflächenrelief mit optisch wirksamen Materialeigenschaften besitzen (rechts). Da sie typische Merkmale des Kunstwerks sind, lohnt es sich, sie fotografisch zu ermitteln, um die bildliche Dokumentation in einem 3D-Modell zu verbessern.

Eine vielversprechende Herangehensweise, um diese Oberflächeninformation zu erfassen, ist das **Reflectance Transformation Imaging (RTI)**. Es wurde in einer ersten Fassung in den 1990er Jahren von Tom Malzbender während seiner Tätigkeit an den HP Labs in Palo Alto entwickelt und 2001 publiziert. Das prinzipielle Konzept von RTI besteht darin, dass aus mehreren Fotografien ein mathematisches Reflexionsmodell gerechnet wird, welches nachträglich die Interaktion, also das Wählen einer Beleuchtungssituation erlaubt. Dafür wird von einem festen Kamerastandpunkt eine Serie deckungsgleicher Einzelaufnahmen angefertigt, bei der die Beleuchtung für jede Einzelaufnahme aus einer anderen, bekannten Richtung erfolgt. Die so aufgenommene Bildsequenz dient in einem zweiten Schritt als Datengrundlage für eine nachträgliche pixelbasierte Modellierung. Dafür werden zunächst die einzelnen Bilder einer solchen Aufnahmeserie deckungsgleich übereinandergelegt. In einem zweiten Schritt wird für jeden spezifischen Ort, welcher die Menge aller Bildpunkte aus den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen darstellt, ein mathematisches Reflexionsmodell – im Normalfall eine Oberfläche zweiter Ordnung – gefittet, das heisst so parametrisiert, dass die Abweichung aller Datenpunkte zum Funktionsverlauf minimal wird [05]. Die so gefundenen Parameter der Funktion werden in einer entsprechenden Datei gespeichert. Die in dieser Form abgelegten Daten repräsentieren also nicht mehr eine Fotografie im eigentlichen Sinne, sondern ein Computermodell, das in einer geeigneten Umgebung, wie z. B. in einem Browser geladen werden kann, in der es mit geeigneten Komponenten wie WebGL gerendert und dargestellt wird.



□ 05

Das Funktionsprinzip von RTI: Fotografische Einzelaufnahmen werden übereinandergelegt und deckungsgleiche Pixelpositionen werden mit einem mathematischen Modell beschrieben. (Digital Humanities Lab, Universität Base)

Es zeigt sich, dass genau diese Erweiterungen in der Messung und Darstellung von Kunstwerken viele Vorteile bringen. Im Speziellen hinsichtlich solcher Objekte, die sich durch eine differenzierte Oberflächenstruktur auszeichnen. Neben Münzen, Gemälden und archäologischen Funden, die sich in dieser Form sehr realistisch darstellen lassen, gehören dazu – wie bereits gesehen – mittelalterliche Wandmalereien, aber insbesondere auch Mosaiken aus dieser Epoche. Werden solche Kunstwerke als Ausstattung eines Gebäudes in einen räumlichen Kontext integriert, auf den sie reagieren, so lässt dies aussagekräftige Simulationen zu, die vom Fotorealismus deutlich profitieren. Mit aussagekräftig ist in diesem Zusammenhang die Reproduzierbarkeit einer Darstellung, sowie deren physikalische Korrektheit gemeint. So sollte eine RTI-Darstellung unter spezifischen Beleuchtungssituationen einer konventionellen Fotografie entsprechen und so der fotografische Prozess simuliert werden können. Dies betrifft vor allem die Wirkung der Bilder auf den Betrachter, die sich je nach Lage und in Abhängigkeit von Beleuchtung, Blickwinkel und Bewegung innerhalb des Raums verändert. Am Beispiel eines ravennatischen Mosaiks aus dem 6. Jahrhundert, das sich heute im Berliner Bode-Museum befindet, dokumentiert ein RTI-Modell die Oberfläche und das Reflexionsverhalten der einzelnen Tesserae [06]. Im Gegensatz zu einer konventionellen Fotografie mit festgelegter, gleichmäßiger und nicht nachträglich veränderbarer Beleuchtung zeigt es, wie die einzelnen Tesserae das Licht je nach Einfallswinkel, reflektieren. Dabei wird im Vergleich mit einer frontal ausgeleuchteten Fotografie (links) ersichtlich, dass es sich nicht um eine homogene Oberfläche handelt. Vielmehr reflektieren die Steinchen das Licht je nach Lage und Beleuchtung unterschiedlich intensiv (rechts). Besonders gut zeigt sich dies an den Gold-Tesserae. Hier lässt sich mit Hilfe des RTI-Modells das viel gepriesene Funkeln eines Mosaiks wesentlich besser darstellen. Wird eine kalibrierte Hardware für die Aufnahme eines solchen Reflexionsmodells verwendet, so wird ein bestmögliches Mass an Reproduzierbarkeit sichergestellt, was die qualitative und quantitative Vergleichbarkeit von Aufnahmen sicherstellt. Eine solch kalibrierte Lösung wurde an der Universität Basel entwickelt und unter dem Namen Truvis Authentica kommerzialisiert.



□ 06

Christus, Detail des Apsismosaiks aus San Michele in Africisco, Ravenna, heute Bode-Museum, Berlin, links unter frontaler Beleuchtung und rechts im Streiflicht der PTM-Viewer-Software (Digital Humanities Lab, Universität Basel)

Ein weiterer Vorteil des RTI-Verfahrens gegenüber herkömmlichen Farbfotografien besteht darin, dass neben den Reflexionseigenschaften auch ein Modell der lokalen Topographie der vermessenen Oberfläche berechnet wird. Dabei wird für jeden Bildpunkt die lokale Ausrichtung der Oberfläche im Raum bestimmt, also eine sogenannte **Normal-Map** der Oberfläche generiert, ohne dabei auf ein explizites 3D-Modell des Objektes zurückgreifen zu müssen. Normal-Mapping ermöglicht die Visualisierung von feinen Unebenheiten oder Beschädigungen wie z. B. Kratzern oder Dellen. Damit kann der reliefartige Charakter von realen Oberflächen besser zur Geltung gebracht werden, ohne die Komplexität des zur Visualisierung verwendeten 3D-Modells zu erhöhen. Während der Einsatz von Normal-Maps in verschiedenen Verfahren der Computergrafik Anwendung findet, muss die Map normalerweise in einem zusätzlichen Arbeitsschritt mittels eines 3D-Scanners oder synthetisch durch Modellierung von Hand erstellt und zusammen mit den restlichen Modell-daten gespeichert werden. Im RTI-Verfahren kann die Map jedoch direkt aus den bereits vorhandenen Daten berechnet werden. Dies ermöglicht eine wesentlich verbesserte Realitätstreue und Detailgenauigkeit der Darstellung ohne den Arbeitsaufwand oder Speicherbedarf zu erhöhen. So kann die lokale Ausrichtung der Oberfläche bei der nachträglichen Beleuchtung berücksichtigt werden, was einen Eindruck der Dreidimensionalität erzeugt, welcher mit flachen Texturen basierend auf einfachen Farbfotografien nicht erreichbar ist.

Durch die Kombination solch technologischer Möglichkeiten kann die Aussagekraft einer 3D-Bildaufnahme deutlich erhöht werden: 3D-Oberflächen lassen sich mit RTI-Aufnahmen und unterschiedlichen Beleuchtungs- und Betrachtungssituationen kombinieren. Im gleichen Mass nimmt die Notwendigkeit der vollumfänglichen Speicherung der technischen Metadaten zu, um dadurch die wichtige Reproduzierbarkeit der Aufnahmen sicherzustellen. 07



07

Eine Reflectance Transformation Imaging Aufnahme, die in einem Browser mit Hilfe von WebGL repräsentiert wird und welche die Animation erlaubt. Auf dem goldbestickten Stoffgewebe ist eine Markierung zu erkennen, sowie ein entsprechendes Kommentarfeld, links im Bildfenster. Auf der rechten Seite sind die Parameter der Betrachtungssituation dargestellt, die im Datenmodell mit abgespeichert werden. (Truvis AG & Digital Humanities Lab, Universität Basel)

S.6 Nachhaltigkeit im Kontext von virtuellen Forschungsumgebungen

Jeff Rothenberg brachte es auf den Punkt, als er 1999 schrieb:

»...digital information lasts forever – or five years, whichever comes first«. **10**

■ 10

Ensuring the Longevity of Digital Information, Jeff Rothenberg, <https://www.clir.org/pubs/archives/ensuring.pdf/>.

Prinzipiell lassen sich digitale Daten verlustlos kopieren, was sie **unendlich** haltbar macht. Wichtig ist hierbei lediglich, dass die Daten in regelmäßigen Abständen auf einen neuen Träger kopiert werden, da alle Trägermaterialien einer natürlichen Alterung unterliegen. Ein Beispiel hierfür sind Textdokumente, deren Schrift ebenfalls digitale Daten – in der deutschen Sprache mit einem Zeichensatz von 26 Grundzeichen – repräsentieren und die in Zyklen umkopiert werden müssen. Die Bibel ist ein solches Dokument: Sie wurde immer wieder abgeschrieben, also umkopiert. Teils geschah dies sogar mittels Schreibern, welche die Bedeutung des Codes der abgeschrieben wurde, nicht lesen und somit auch nicht verstehen konnten. So wurde sichergestellt, dass der ursprüngliche Text unverändert überliefert werden konnte. Auch im Digitalen wird dieses erfolgreiche Konzept praktiziert: Digitaler Code wird in regelmäßigen Abständen auf einen neuen Träger kopiert, um so der technologischen Obsoleszenz entgegen zu wirken. Allerdings ist es in der digitalen Welt meist so, dass nicht der Datenträger selbst das Problem darstellt, sondern sich die Technologie, mit welcher die Daten vom Träger gelesen werden, relativ schnell verändert, sodass ein Migrationsprozess ausgelöst werden muss. Das weit verbreitete OAIS-Modell berücksichtigt diesen Wandel der verwendeten Technologie und empfiehlt deshalb ein kontinuierliches **Technologiemonitoring**.

Diese oben genannten Aspekte adressieren die klassischen Probleme der Nachhaltigkeit im Digitalen; d. h. Hardwareobsoleszenz und Fragen zu Datenformaten. Wenn aber digitale 3D-Objekte in einer virtuellen Forschungsumgebung dargestellt und mit ihnen gearbeitet werden soll, so sind plötzlich ganz andere Faktoren ebenfalls wichtig:

■ 11

Stephan Hoppe, Die Fußnoten des Modells. CAD-Modelle als interaktive Wissensräume am Beispiel des Altenberger-Dom-Projektes, in: Frings, Marcus (Hg.), Der Modelle Tugend. CAD und die neuen Räume der Kunstgeschichte, Weimar 2001, S. 87–10, <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/990/>.

Es muss möglich sein, dass die digitalen Objekte referenziert und zitiert **11** werden können. Das beinhaltet auch die assoziierten Metadaten und die Parameter einer spezifischen Betrachtungssituation. Diese Zitierfähigkeit setzt voraus, dass ein eindeutiger Link, typisch ein Uniform Resource Identifier (URI) zum spezifischen Objekt vorhanden ist und dieser auch über mehrere Migrationsschritte unverändert bestehen bleibt. In diesem Zusammenhang ist **The London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage** zu nennen **12**.

■ 12

The London Charter Website, <http://www.londoncharter.org/>.

Es muss bis zu einem weitreichenden Mass sichergestellt werden, dass die **Historie** eines bearbeiteten Objekts aufgezeichnet wird. Dieses **logging** unterstützt die Reproduzierbarkeit von Forschungsarbeiten. So wird sichergestellt, dass eine Referenz auf eine andere Ressource effektiv gültig bleibt und eine allfällige Änderung des Inhaltes auch nachvollziehbar wird. Ist dies nicht gewährleistet, wäre es möglich, dass z. B. ein Objekt im 3D Raum referenziert wird, dessen Form sich nach der Referenzierung verändert hat, was zu Falschaussagen führen kann.

Die oben genannten Aspekte können nur realisiert werden, wenn eine kontinuierliche Pflege der Soft- und Hardware garantiert wird und bei allen Weiterentwicklungen die Prämisse der Verwendung von offengelegten, möglichst standardisierten Technologien garantiert ist. Diese stellt weniger eine technologische als vielmehr eine organisatorische Herausforderung dar, welche durch die Zentralisierung solcher Infrastrukturen eher realisiert werden kann.

S.7 Fazit

Die Visualisierung von Objekten in einem 3D-Raum kann für die Forschung in Kombination mit virtuellen Forschungsumgebungen eine deutliche Unterstützung der meisten wissenschaftlichen Arbeiten sein, bei denen es um Objekte mit einer räumlichen Ausdehnung geht.

Nebst der makroskopischen Dreidimensionalität sind viele aus der Fotografie bekannte Faktoren wie die geometrische Masshaltigkeit und die Farbtreue von grosser Wichtigkeit. Es wurde gezeigt, dass die vielschichtige Medialität einer dreidimensionalen Abbildung in einer modernen virtuellen Forschungsumgebung mit der notwendigen Qualität zusammengeführt werden kann.