



University of Applied Sciences

Abschlussbericht zum Förderprogramm 2016 Virt:Kult – Kontextualisierung von Kulturgut mit Virtual Reality und Gametechnology

(Stand: März 2017)



Inhalt

1.	Allgemeines			
1.1.	Ausgangssituation und Projektziele			
1.2.	Projektorganisation	4		
2.	Projektverlauf und Ergebnisse	5		
2.1.	Projektverlauf	5		
2.2.	Ergebnisse des Projekts aus fachlicher und technischer Sicht	6		
2.3.	Gesamtergebnis des Projekts und Einschätzung	16		
3.	Ausblick	17		
4.	Anhang	18		

1. Allgemeines

In einer sich im Wahrnehmungsverhalten rapide verändernden Gesellschaft müssen sich die Berliner Kultureinrichtungen auf neue Technologien der Vermittlung, des Generieren von Interesse und des Marketings einstellen, um nicht Teile ihrer Klientel zu verlieren und sich insbesondere auch ein neues zu erschließen – im Fokus stehen Jugendliche und bildungsfern Aufwachsende sowie Besucher mit anderem kulturellen Hintergrund. Mit den neuen digitalen Techniken eröffnen sich Wege, museale Objekte so in einen Zusammenhang zu stellen, dass Besucher ohne große Vorkenntnisse sie verstehen können. Das Projekt geht aber über die rein technische Lösung hinaus und soll zur Beantwortung der Frage: "wozu digitalisieren wir, welcher Nutzen liegt im Produkt' beitragen. Digitalisierung als Selbstzweck erzeugt keinen nach außen vermittelbaren Mehrwert, außer einer Dokumentation und Sicherung.

1.1. Ausgangssituation und Projektziele

Ausgangssituation

Mit unserem Ansatzpunkt, Digitalisate von Museumsobjekten mithilfe von *Game Technology* virtuell zu kontextualisieren, gehen wir auf ein breites Nutzerspektrum zu, dass die Anwendung prinzipiell beherrscht, dem jedoch kein Angebot aus dem Bereich kultureller Institutionen geboten wird. Ziel des Projektes ist es nicht, Objekte mit einer passiven Vermittlung, wie Animationen oder Apps Zusatzinformationen zu ergänzen, sondern Methoden eines interaktiven Zugangs zu ihnen weiterzuentwickeln. Dadurch soll die Möglichkeit geschaffen werden, nicht nur Objekte in ihren ursprünglichen Zusammenhang zu stellen – wie es auf einfachster Ebene mit Fotomontagen möglich wäre –, sondern sie erlebbar zu machen.

Um ein Objekt begreifen zu können, seine "Stellung im Leben" nachvollziehen zu können, muss die Rekonstruktion des Kontextes möglichst umfassend sein und verschiedenste zeitliche und räumliche Skalierungen ermöglichen. Es muss also auch nachvollziehbar sein, wie der Weg zu seiner Schöpfung entstand, welche Wechselwirkungen zwischen Objekt und Umgebung sich möglicherweise erkennen lassen, die zu seiner Gestaltung beitrugen.

Bei dem ausgewählten Fallbeispiel geht es darum, erkennbar zu machen, wo das Objekt ursprünglich angebracht war, in welchem Architekturzusammenhang es stand, welche Nah- und Fernbezüge seine Aufstellung prägten, und wie Planung und Umsetzung des Objektes im Raum zu rekonstruieren sind. Mit den Möglichkeiten, interaktiv diese Fragen zu visualisieren, hat der Nutzer die Chance, sich dem Objekt von verschiedensten Seiten zu nähern und es im wörtlichen und übertragenen Sinne ,begreifbar' zu machen.

Projektziele

Zu den herausragendsten Stücken auf der Berliner Museumsinsel gehört die Alhambra-Kuppel im Museum für Islamische Kunst, eine aus dem 14. Jahrhundert stammende Holzdecke, die aus hunderten äußerst sorgfältig geschnitzten und bemalten Holzteilen besteht und zu den frühesten und schönsten erhaltenen Decken der spanischen Nasridendynastie gehört. Sie stellt einen Höhepunkt der islamischen Holzschnitzkunst überhaupt dar.

Die Decke gelangte 1891 nach Berlin und wurde 1978 vom Museum erworben. Aus konservatorischen Gründen ist sie gedämpft beleuchtet.

Kein Besucher kann nachempfinden, wie die Kuppel einst den obersten Raum des Turms eines Palastes in der Alhambra schmückte. Dort wiederum ist eine schlecht nachempfundene Kuppel eingebaut, die die Qualität des Originals nicht einmal ansatzweise erahnen lässt. Der Turm (Torre de las Damas) selbst, "Mirardor" des Palacio del Partal, war in seinem oberen Raum außer mit der Kuppel auch mit üppigen Stuckreliefs und Fliesen geschmückt. Von hier genoss der Herrscher den weiten

Blick über Granada und die Umgebung, und es ist davon auszugehen, dass die Fenster auf Sichtachsenbezüge angelegt waren. Auch wurde Sonnenlicht bei bestimmten Konstellationen in die Kuppel reflektiert.

Mit dem Fallbeispiel soll Weltkulturerbe virtuell wieder vereint werden. Den Nutzen dabei hat sowohl das Berliner Museum als auch die Alhambra. Dabei wird es ein Ziel sein, Betrachtern im Museum für Islamische Kunst zu ermöglichen, die Kuppel in ihrer ursprünglichen Situation wahrzunehmen, sowie Besuchern der Alhambra die Kuppel an ihren ursprünglichen Ort und Kontext virtuell zu projizieren.

Für die Rekontextualisierung von Kulturgut am Beispiel der Kuppel der Alhambra im Museum für Islamische Kunst sollen neue Techniken der Computerspiel-Entwicklung sowie der Virtual- / Augmented-Reality eingesetzt werden. Eine weitere Rolle spielt die Visualisierung von planetarischen Konstellationen. Hierzu wird in diesem exemplarischen Beispiel die Animation der Sonne berücksichtigt werden. Es sollen in einer Game Engine Werkzeuge geschaffen werden, mit dem die Sonneneinstrahlung und die Sonnenreflexionen (über die Wasserfläche eines großen Beckens am Fuß des Turms) exploriert werden können. Herausforderungen, die bewältigt werden müssen, sind ferner die Implementierung von Fernerkundungsdaten zur Modellierung der damaligen Umgebungslandschaft, und Tools für eine interaktive bauliche Veränderung, um die Bauplanung und -entwicklungen nachvollziehen zu könne. Das besondere der Alhambra stellt ja die bewusste Verschmelzung von Architektur, -dekor, gestalteter und natürlicher Landschaft dar – Dimensionen, die islamische Hochkulturen prägten und dem Nichtwissenden leider entgehen.

1.2. Projektorganisation

Institution, Abteilung	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin – FB 5 Game Design
Projektleitung	Prof. Thomas Bremer
Projektmitarbeiter	Prof. Dr. Kay Kohlmeyer Prof. Susanne Brandhorst Arie Kai-Browne
Externe Beteiligte	Dr. Julia Gonnella (Museum für Islamische Kunst Berlin SMB) Dr. Jesús Bermúdez López (Patronato de la Alhambra Generalife)
Gesamte Projektlaufzeit	01.04.2016 – 31.12.2016

2.1. Projektverlauf

Arbeits- pakete	Zeitraum	Aufgabe	Personal
1		Dreidimensionale Erfassung der Kuppel mittels 3D-Scanner (hochpräzise, aber kostenaufwendig) und structure-from- motion-Verfahren (kostengünstig) und anschließende Abweichungsanalyse	Dr. Julia Gonnella Prof. Dr. K. Kohlmeyer Arie Kai-Browne
2		Dreidimensionale Erfassung des Palastteiles mit Turm und seiner unmittelbaren Umgebung auf der Alhambra mittels 3D- Scanner und structure-from-motion- Verfahren und anschließende Abweichungsanalyse	Prof. Dr. K. Kohlmeyer Dr. Julia Gonnella Dr. Jesús B. López Arie Kai-Browne
3		Aufarbeitung frei verfügbarer Geodaten zur Modellierung der Landschaft, Einarbeitung landschaftsarchäologischer Daten zur Rekonstruktion der Landschaft im 14. Jahrhundert	Arie Kai-Browne
4		Erstellung einer <i>best practice</i> Anleitung zur Datenerfassung unter Berücksichtigung fachlich anerkannter Richtlinien zur 3D-Dokumentation von Kulturerbe.	Arie Kai-Browne
5		 Retopologisierung der Kuppel Integration aller Daten in einer Game Engine Konzeption und Implementierung einer Simulation von Sonnen- und Sternbewegungen in einer Game Engine Konzeption und Entwicklung einer Virtual- Reality-Version des Konzeptes Konzeption und Entwicklung einer Augmented-Reality-Version des Konzeptes 	Arie Kai-Browne

Umfang der erzielten Ergebnisse

Konzeptentwicklung zur dreidimensionalen und farblichen Erfassung der Kuppel sowie des Palastes

Für eine wahrlich immersive und realitätsnahe Erfahrung bei der Verwendung von Game Engines und Virtual Reality ist die Qualität der 3D-Modelle von ausschlaggebender Bedeutung. Dementsprechend signifikant sind die Art der Erfassung sowie die weitere Verarbeitung des digitalen Modells, da diese unmittelbar den Realitätsgrad des 3D-Modells beeinflussen.

So wurde im Vorfeld der Arbeiten im Museum für Islamische Kunst Berlin und im Palacio del Partal auf der Alhambra anhand eines Testdatensatzes, einer neolithischen Doppelbestattung, der Ablauf zur dreidimensionalen Erfassung der Kuppel sowie der Palastteile entwickelt. Neben der Evaluierung der unterschiedlichen Messfelder sowie der möglichen Scanparameter, welche sich unmittelbar auf den Detailgrad der Erfassung auswirken, wurde insbesondere die methodische Kombination des 3D-Scannens und der photogrammetrischen Erfassung erprobt. Hierbei wurde festgestellt, dass die Kombination dieser beiden Methoden einen deutlichen Mehrwert hinsichtlich der Qualität der Farberfassung sowie der Ergänzung von Fehlstellen bietet.

Erfassung und Verarbeitung der Kuppel im Museum für Islamische Kunst Berlin

Die Kuppel im Museum für Islamische Kunst Berlin wurde mittels eines Streifenlichtscanners (breuckmann smartSCAN HE-5) vollständig dreidimensional erfasst. Für die Farberfassung wurde die Kuppel zusätzlich mit einer digitalen Vollformat-Kamera photogrammetrisch erfasst.

Die 3D-Scans sind weiterführend prozessiert worden, sodass die Kuppel als hochauflösendes 3D-Modell mit einer räumlichen Auflösung von ca. 0,5mm vorliegt. Des Weiteren war es für die Einbindung in einer Game-Engine notwendig, das hochauflösende Modell zu reduzieren und für die Beibehaltung der feinen Details, entsprechend Methoden aus der Game-Technologie zu verwenden (siehe techn. Parameter).

Für die Farbgebung des 3D-Modells wurden die fotografischen Aufnahmen zunächst photogrammetrisch ausgewertet, mit dem 3D-Scan referenziert und auf den 3D-Scan projiziert.

Erfassung und Verarbeitung des Palastes sowie des Turmraums

Der Turmraum des Torre de las Damas, wurde ebenfalls vollständig mittels eines Streifenlichtscanners (breuckmann smartSCAN HE-5) erfasst. Zudem wurde, gleich der Erfassung der Kuppel, der Raum vollständig photogrammetrisch aufgenommen. Hierbei wurde insbesonders die identische Vorgehensweise und Auswertung der Photogrammetrie berücksichtigt, damit bei der späteren Kombination des Raumes und der Kuppel die Farbgebung beider Modelle zueinander passt. Die weitere Prozessierung der 3D-Scans und der photogrammetrische Auswertung erfolgte in derselben Weise wie bei der Kuppel.

Zusätzlich wurden die zugänglichen Bereiche des Palastes, des Palacio del Partal, ebenfalls photogrammetrisch erfasst und entsprechend ausgewertet. Hiermit sollte gewährleistet werden, dass der Turmraum im Kontext des Palastes betrachtet und in späteren VR-Applikationen ebenfalls begehbar ist.

Verarbeitung von frei verfügbaren Geodaten

Aufgrund der besonderen Bedeutung der Interaktion zwischen Architektur und Landschaft war es entsprechend notwendig, die naturräumliche Umgebung der Alhambra zu modellieren. Dazu wurden die vom Instituto Geográfica Nacional zur Verfügung gestellten Fernerkundungsdaten systematisch gesichtet und entsprechend der Nutzeranforderungen akquiriert und weiter verarbeitet. Die Datensätze umfassen zwei unterschiedlich aufgelöste Höhenmodelle der umgebenden Landschaft (ca. 20 x 20km) sowie Orthobilder zur Farbgebung.

Technische Parameter

Digitalisierung der Kuppel im Museum für Islamische Kunst Berlin

Die 3D-Erfassung der Kuppel wurde mit dem Streifenlichtscanner breuckmann smartSCAN HE-5 und dem Messfeld L-950 durchgeführt. Bei dem verwendeten Messfeld beträgt der Aufnahmeausschnitt eines einzelnen Scans 76 x 57cm bei einem räumlichen Punktabstand von 0.315 mm. Um die Kuppel vollständig zu erfassen, waren entsprechend 435 einzelne Scanaufnahmen notwendig.

Aufgrund der Montage-Höhe der Kuppel im Museum für Islamische Kunst war die Verwendung eines Gerüstes notwendig. Zur optimalen Erfassung der Kuppel wurde der 3D-Scanner dabei zentral auf einem Kamera-Jib (siehe Abb. 1) positioniert, von dem aus kreisförmig die Einzelscans aufgenommen wurden. Dabei wurde auf eine ausreichende Überlappung von ca. 30% zwischen den Einzelscans geachtet, damit in der weiteren Verarbeitung die Einzelscans anhand der überlappenden Geometrie zueinander ausgerichtet werden können. Die gleiche Vorgehensweise wurde ebenfalls für die photogrammetrische Erfassung der Kuppel genutzt. Dabei wurde die Vollformatkamera Sony A7R (36MP) mit dem Zeiss Loxia 50mm f2.0 und dem Ringblitz Nissin MF18 verwendet. Zur vollständigen Erfassung wurden insgesamt 888 einzelne Digitalbilder aufgenommen.



Abbildung 1: 3D-Scan der Alhambra-Kuppel im Museum für Islamische Kunst Berlin

Digitalisierung des Turmraums (Torre de las Damas)

Der Innenraum des Turms wurde ebenfalls mit dem breuckmann smartSCAN HE-5 aufgenommen, wobei hier zwei unterschiedliche Messfelder eingesetzt wurden. Für die dekorierten Stuckpanele wurde das Messfeld M-475 verwendet, wo der Aufnahmeausschnitt 38 x 28cm beträgt und eine räumliche Auflösung von 0.16mm ermöglicht. Die höhere Auflösung war notwendig, um selbst feinste Details zu erfassen. Der undekorierte Sockelbereich des Innenraums wurde mit dem Messfeld L-950 aufgenommen. Insgesamt waren 2078 Einzelscans notwendig, um den gesamten Innenraum zu erfassen.

Zur Datenerhebung wurde ebenfalls ein Gerüst aufgebaut, auf dem der Kamera-Jib zum Einsatz kam. Hierbei wurde er jedoch in einer anderen Orientierung als bei der Erfassung der Kuppel genutzt. Der Kamera-Jib wurde vertikal aufgestellt, so dass der 3D-Scanner entlang einer vertikalen Strecke von 2m entlangfährt. Nach jeder erhobenen Bahn wurde der Stativ-Aufbau horizontal versetzt und entsprechend wieder in der Vertikalen gescannt. Hier hat sich deutlich gezeigt, dass die Verwendung von Filmequipment sehr vorteilhaft bei der 3D-Digitalisierung sein kann.

Für die photogrammetrische Erfassung wurde ebenfalls die Vollformatkamera Sony A7R (36MP) mit dem Zeiss Loxia 50mm f2.0 und dem Ringblitz Nissin MF18 verwendet. Zur vollständigen Erfassung des Innenraums wurden insgesamt 3438 einzelne Digitalbilder aufgenommen. Die weitere photogrammetrische Auswertung wurde ebenfalls in Agisoft Photoscan 1.3. durchgeführt, wobei hier jeweils die Wände einzeln prozessiert wurden (mehr zu dem Thema im Abschnitt "Farberfassung und Kombination mit den 3D-Scans").



Abbildung 2: 3D-Scan des Torre de las Damas, Alhambra

Digitalisierung des Palacio del Partal

Zur Einbindung des Turmraums in seiner weiteren Umgebung war es notwendig, auch das gesamte Gebäude dreidimensional zu erfassen. Hierzu wurden die von außen zugänglichen Bereiche des Gebäudes photogrammetrisch erfasst. Dabei wurden die Aufnahmen nach der klassischen Vorgehensweise zur photogrammetrischen Erfassung erstellt. Insgesamt wurden 727 Digitalbilder mit der Sony A7R und dem Zeiss Batis 25mm 2.0 und dem Zeiss Loxia 50mm 2.0 aufgenommen.

Der Datensatz wurde mit der Software Reality Capture prozessiert, was in einer Punktwolke mit ca. 170 Millionen Punkten resultierte. Im Anschluss an die Vermaschung wurden dieselben Arbeitsschritte durchgeführt wie in Punkt "Weiterverarbeitung der hochauflösenden Messdaten zur Integration in einer Game Engine".

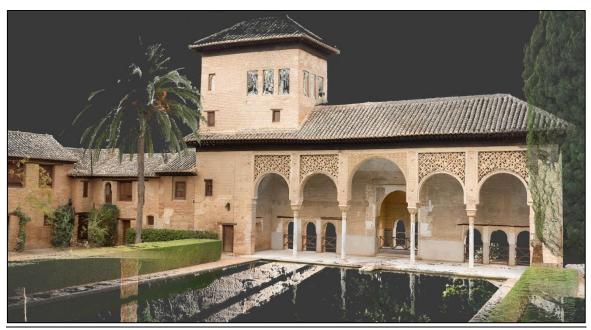


Abbildung 3: Ergebnis der photogrammetrischen Erfassung des Palacio del Partal, Alhambra

Farberfassung und Kombination mit den 3D-Scans

Die Erfassung der Farbinformationen ist zwar mit dem breuckmann smartSCAN HE-5 möglich, jedoch haben die bisherigen Ergebnisse zu verhältnismäßig unbefriedigenden Ergebnissen geführt. Dies liegt primär darin begründet, dass derselbe Bildsensor für die Berechnung der 3D-Punkte und die Erfassung der Farbe verwendet wird; dabei ist sowohl die radiometrische Tiefe (8-bit) als auch das Rauschverhalten denen von modernen Vollformat-Kameras deutlich unterlegen, was primär durch den verhältnismäßig kleinen Bildsensor des 3D-Scanners zu erklären ist. Zudem ist der Dynamikbereich, also der maximal erfassbare Helligkeitsunterschied bevor ein Bereich entweder unter- oder überbelichtet ist, vergleichsweise gering. Um dennoch qualitativ hochwertige Farben zu erfassen, wurde parallel zur Erfassung der Oberflächen, der gesamte Raum photogrammetrisch mit einer Vollformat-Kamera aufgenommen.

Neben der reinen Abbildungsqualität von modernen digitalen Vollformat-Kameras, ist ein weiterer Faktor für die spätere Visualisierung entscheidend: die Beleuchtung des Zielobjektes. Wenn das reine Umgebungslicht bei der Datenaufnahme verwendet wird, ist die räumliche Modellierung des Objektes bereits in den Farbwerten integriert. Dies kann dazu führen, dass bei der späteren virtuellen Ausleuchtung des Objektes die virtuelle Lichtquelle zu einem visuellen Widerspruch zu der in den Farbwerten "verbackenen" Ausleuchtung führt. Entsprechend ist es bereits bei der Aufnahme des Bilder notwendig, die Ausleuchtung möglichst schattenfrei und einheitlich zu gestalten. Hierbei wird ein Ringblitz verwendet, sodaß eine Belichtungszeit gewählt werden kann, bei der das Umgebungslicht vollständig ausgeblendet werden kann.

Anhand der einheitlichen und nahezu schattenfreien Ausleuchtung kann die spätere virtuelle Lichtsetzung sehr realitätsgetreu wirken (Abb. 4)

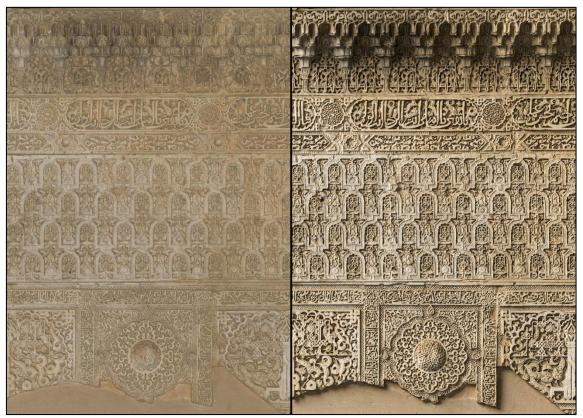


Abbildung 4: Links die schattenfreien Farbinformation, rechts virtuelle Lichtsetzung.

Prinzipiell müssen dazu die Digitalbilder der Vollformat-Kamera auf das resultierende Modell des 3D-Scans projiziert werden. Hierzu ist es notwendig, die Position (extrinischen Parameter) der einzelnen Digitalbilder in Bezug zum 3D-Modell zu setzen sowie die Verzerrung der Digitalbilder, Brennweite etc. hochgenau zu bestimmen (intrinsischen Parameter). Um dies zu erreichen, werden die Digitalbilder zunächst rein photogrammetrisch ausgewertet, wodurch ein weiteres 3D-Modell entsteht.

Das daraus resultierende 3D-Modell wird im Anschluss anhand der gemeinsamen Überlappung mit dem 3D-Scan innerhalb der quelloffenen Software CloudCompare 2.8 zunächst grob ausgerichtet. Anhand des ICP (Iterative Closest Point) Algorithmus wird dann die Ausrichtung der beiden Modelle verfeinert, sodass diese sich hochgenau überlappen. Sobald die beiden Modelle aneinander ausgerichtet wurden, kann der 3D-Scan in die Photogrammetrie Software Agisoft Photoscan importiert werden und anhand der berechneten Kamerapositionen texturiert werden. Somit wird die qualitativ hochwertige sowie nahezu schattenfreie Farberfassung auf die hochgenaue Geometrie des 3D-Scans übertragen.

Ein weiterer Vorteil, der sich aus dieser Methode ergibt, besteht darin, dass Fehlstellen des 3D-Scans ebenfalls ergänzt werden können. Fehlstellen im 3D-Scan können bei scharfen Unterschneidungen der Objektoberfläche entstehen, da die Stereo-Kameras und die Lichtquelle einen statischen Abstand zueinander aufweisen. Dadurch kann es vorkommen, dass bestimmte Bereiche nicht erreicht (gleichzeitig von beiden Kameras betrachtet) werden können. Bei der Photogrammetrie kann wiederum der Abstand zwischen zwei Aufnahmepositionen frei gewählt werden, sodass bei komplexeren Unterschneidungen einfach ein geringerer Basisabstand gewählt werden kann. Um Fehlstellen des 3D-Scans mit der photogrammetrischen Aufnahme zu ergänzen, ist es notwendig, nach dem oben genannten Arbeitsschritt der hochgenauen Ausrichtung beider Datensätze eine Abweichungsanalyse durchzuführen. Dabei wird die Distanz

von jedem 3D-Punkt des 3D-Scans zu dem nächstgelegenen Punkt des photogrammetrischen Modells berechnet und dem jeweiligen Punkt zugewiesen. Fehlstellen im 3D-Scan, die wiederum im photogrammetrischen Modell nicht existieren, haben entsprechend eine höhere Abweichung. Auf Grundlage dieser höheren Abweichung wird das photogrammetrische Modell segmentiert. Diese segmentierten Bereiche werden im Anschluss mit dem 3D-Scan kombiniert, sodass die Fehlstellen vollständig aufgefüllt werden können.

Verarbeitung der hochauflösenden Messdaten

Ein wesentlicher Bestandteil des Digitalisierungsprozesses besteht aus der Verarbeitung der Rohdaten. Nach dem Scanprozess liegen die Messdaten jeweils als Einzelscans vor, wo jeder Einzelscan den Aufnahmeausschnitt des jeweiligen Messfeldes repräsentiert. Die Einzelscans werden bereits unmittelbar nach der Aufnahme an den vorangegangenen Einzelscan anhand der überlappenden Geometrie grob ausgerichtet. Hiermit soll gewährleistet werden, dass der Benutzer während des Digitalisierungsprozesses die Vollständigkeit des 3D-Scans beurteilen und gegebenenfalls Fehlstellen ergänzen kann.

Im Anschluss ist es notwendig, eine globale Ausrichtung sämtlicher Einzelscans anzuwenden. Hierbei werden sämtliche Überlappungsbereiche iterativ aneinander ausgerichtet, bis keine weitere Näherung der Einzelscans zueinander mehr möglich ist. Wenn sämtliche Einzelscans zueinander ausgerichtet wurden, folgt die Fusion der Einzelscans zu einer durchgängigen Oberflächenvermaschung. Bereinigungsprozesse, wie das Entfernen von isolierten Streupunkten, Rauschminderung und die Reduktion der Polygonanzahl können im Rahmen dieses Arbeitsschrittes ebenfalls angewendet werden.

Bei der weiteren Verarbeitung des Turmraums mussten aufgrund der hohen Anzahl an Einzelscans und der damit einhergehenden Datengröße, die Wände zunächst einzeln bearbeitet werden. Die jeweiligen Einzelscans einer Wand wurden entsprechend zueinander ausgerichtet, wobei die unterschiedlichen Messfelder dabei zunächst seperat und erst im Anschluss miteinander kombiniert wurden. Nach der Ausrichtung der Einzelscans wurden diese zu einem durchgängigen Oberflächenmodell vermascht.

Im Anschluss wurden die einzelnen Wände räumlich zueinander ausgerichtet. Aufgrund der großen Datenmenge wurden die Wände als einzelne Objekte belassen, da insgesamt mehr als 1 Milliarde Dreiecke den Innenraum repräsentieren. Erst im weiteren Verlauf der Aufbereitung für den Import in die Game Engine wurden die einzelnen Wände zusammengeführt.

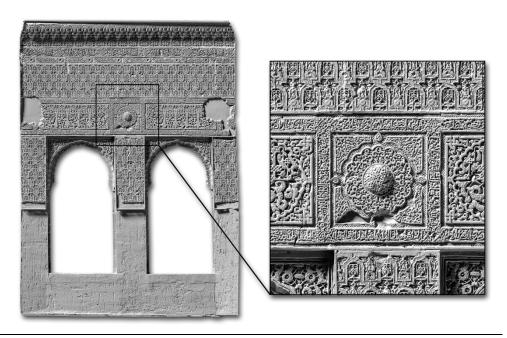


Abbildung 5: Hochauflösende Oberflächenvermaschung von Wand 002

Weiterverarbeitung der hochauflösenden Messdaten zur Integration in einer Game Engine Um die hochauflösenden 3D-Modelle mit sämtlichen filigranen Details für ein breites Spektrum an Benutzern zugänglich zu machen, war es notwendig, die geometrischen Details um ein Vielfaches zu reduzieren, so dass Endanwender auch mit leistungsärmeren Computern die Kuppel in ihrem ursprünglichen Kontext betrachten können.

Damit der visuelle Detailgrad jedoch erhalten bleibt, wurde eine Technik aus dem Bereich des Game-Designs verwendet: die Nutzung von Texturen anstelle von Polygonen zur räumlichen Modellierung der hochfrequenten Details.

Dazu wird zunächst das hochauflösende Modell stark dezimiert. So wurde das 3D-Modell des Innenraums von ursprünglich mehr als 1 Milliarde Polygone auf ca. 5 Millionen reduziert (Faktor von 0.005). Dabei bleibt lediglich die grobe Form des ursprünglichen Objektes erhalten (Abb. 6, links). Um auf das niedrig auflösende Modell Bildtexturen (Pixel) aufzutragen, ist es notwendig, das 3D-Modell auf eine zweidimensionale Ebene aufzufalten, so dass jedem Punkt des 3D-Modells ein korrespondierender Punkt auf der zweidimensionalen Ebene zugewiesen werden kann (UV-Mapping).

Sobald dieser Schritt durchgeführt ist und Bildtexturen auf das niedrig-auflösende Modell aufgetragen werden können, wird ein weiterer gängiger Prozess aus dem Bereich des Game Designs angewandt: die Übertragung von Informationen des hochauflösenden Modells auf das reduzierte Modell. Da beide Modelle deckungsgleich übereinander liegen, können die hochfrequenten Details des ursprünglichen Modells auf das niedrig-auflösende Modell übertragen werden. Die Details werden hierbei auf das Pixelbild übertragen, wo der RGB-Wert der Pixel zu dem X,Y,Z Wert der Oberflächennormale korrespondiert (Abb.6, mitte). Auf Grundlage dieser sogenannten "Normal-Map" besteht die Möglichkeit, die Pixelinformationen virtuell zu beleuchten (Abb.6, rechts). Weitere Informationen, die von dem hochauflösenden Modell übernommen werden können, sind u.a. Selbstabschattungen (Ambient Occlusion) und die Oberflächenkrümmung (Curvature), die dem stark reduziertem Modell ein deutlich höheren Detailgrad verschaffen.

Diese Technologie wurde für sämtliche Datensätze verwendet. Dabei konnte beispielsweise der hochauflösende Datensatz des Innenraums von ursprünglich 23,5 GB auf 2,5 GB reduziert werden.

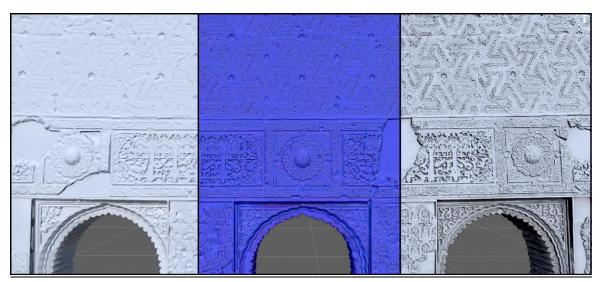


Abbildung 6: Das reduzierte Modell (links), die Oberflächennormalen als Farbtextur (Mitte), die Oberflächennormalen virtuell ausgeleuchtet für hochfrequente Details (rechts)

Verarbeitung von frei verfügbaren Geodaten

Für die Einbettung der erhobenen Daten des Palacio del Partal in die umgebende Landschaft wurden entsprechende Geodaten vom Instituto Geográfica Nacional akquiriert. Die Datensätze umfassen topographische Daten im Rasterformat der großräumigen Landschaft (ca. 40 x 40km) mit einer räumlichen Auflösung von 5m sowie Airborne Laserscans mit einer Ausdehnung von ca. 20 x 20km und einer räumlichen Auflösung von 1m. Des Weiteren wurden farbige Luftbilder mit einer räumlichen Ausdehnung von 40 x 40km und einer räumlichen Auflösung von 50cm für die Farbtexturierung der Geländemodelle akquiriert.

Zur Einbindung der Landschaftsdaten in die Game Engine waren weitere Prozessierungsschritte notwendig, da die Datensätze primär für die Verarbeitung innerhalb eines GIS (Geographisches Informationssystem) vorgesehen sind.

Ein grundlegendes Problem bei der Einbindung von Geodaten in Game Engines ist die Länge der Koordinaten, die zumeist 7-8 Stellen aufweisen. Dies führt aufgrund von Hardware-Limitationen von Grafikkarten zu Darstellungsfehlern, sodass es notwendig ist, den Datensatz in ein lokales Koordinatensystem reversibel zu tranformieren.

Hierzu wurden zunächst alle Datensätze in ein lokales Koordinatensystem transformiert, wobei jedoch die Transformationsparameter bekannt und, damit einhergehend, reversibel sind. Aus dem im Rasterformat vorliegende Geländemodell wurde in Cloudcompare 2.8. eine Punktwolke extrahiert und anschließend mittels der Delauney Triangulation in eine Oberflächenvermaschung konvertiert. Durch den identischen Ausschnitt der Oberflächenvermaschung und der farbigen Luftbilder konnten anhand einer einfachen Projektion die Farbinformationen auf das Geländemodell aufgetragen werden. Das nun als texturiertes 3D-Modell vorliegende Gelände konnte entsprechend im lokalen Koordinatensystem in eine Game Engine importiert werden.

Die Verarbeitung der Airborne Laserscans unterscheidet sich von der Verarbeitung der Rasterdaten insoweit, als diese bereits als klassifizierte Punktwolke vorliegen. Diese kann unmittelbar vermascht werden, so dass die nähere Umgebung sowie der Berg, auf dem die Alhambra liegt, als höher aufgelöstes 3D-Modell dargestellt werden können.

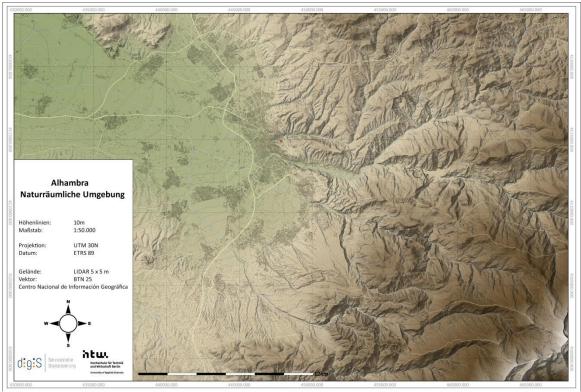


Abbildung 7: Aus den frei verfügbaren Geodaten erstellte Karte der Umgebung von Granada

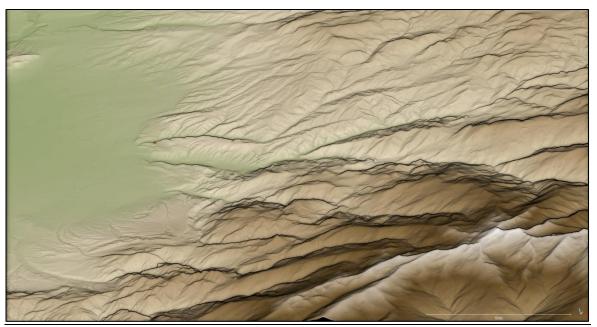


Abbildung 8: Aus den Geodaten extrahiertes 3D-Modell der naturräumlichen Umgebung.

Zusammenführung in einer Game-Engine

Alle genannten Datensätze liegen in gängigen 3D-Formaten vor, sodass diese in beliebigen Game Engines importiert werden können. Durch die Verwendung eines lokalen Koordinatensystems, befinden sich die Datensätze unmittelbar nach Import an ihrer korrekten Position. Für die Visualisierung in VR sowie die Einbindung in AR-Anwendungen wurde die Game Engine Unity 5.4 verwendet.



Abbildung 9: Die Alhambra-Kuppel eingebettet in den Torres de las Damas. Unity 5.4 Game Engine



Abbildung 10: Die Alhambra-Kuppel eingebettet in den Torres de las Damas. Unity 5.4 Game Engine

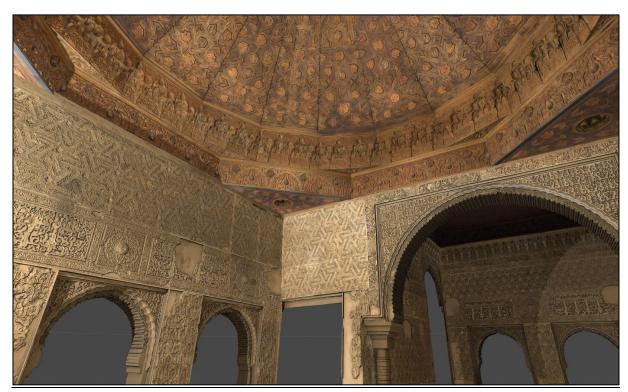


Abbildung 11: Die Alhambra-Kuppel eingebettet in den Torres de las Damas. Unity 5.4 Game Engine

Rechteklärung

Die Rechte an dem Digitalisat wurden im Rahmen der Kooperationsvereinbarung zwischen dem Museum für Islamische Kunst Berlin und dem Patronato de la Alhambra Generalife vertraglich festgelegt.

2.3. Gesamtergebnis des Projekts und Einschätzung

Die virtuelle Kontextualisierung der Alhambra-Kuppel des Museums für Islamische Kunst Berlin zeigt eindrucksvoll, inwieweit die Digitalisierung von Kulturgut zur musealen Vermittlung von kulturhistorischen Inhalten verwendet werden kann. Zudem lässt das Fallbeispiel erkennen, in welchem Umfang das Digitalisat zur Klärung von bauhistorischen Fragestellungen, vor allem in Hinsicht auf die Interaktion von Landschaft und Architektur, beitragen kann. Erstmalig seit dem Abbau der Kuppel aus dem Torre de las Damas Ende des 19. Jahrhunderts kann der Betrachter die Kuppel im Kontext seines ursprünglichen Ortes "erfahren", was vor allem in Anbetracht der filigranen Stuckdekoration des Turmraums und der beeindruckenden, naturräumlichen Lage des Gebäudes von besonderer Bedeutung ist.

Die Grundlage hierfür wurde anhand der multiskalaren Erfassung der Architektur und der umgebenden Landschaft geschaffen, wozu eine Reihe unterschiedlicher Technologien zum Einsatz kamen. Neben den hochauflösenden 3D-Scans des Turmraums und der Kuppel mittels eines Streifenlichtscanners (Mikrometer) wurde das Gebäude photogrammetrisch erfasst (Millimeter), Airborne Laserscans der unmittelbaren Umgebung akquiriert (Meter) sowie die großräumige Landschaft anhand von Satellitendaten modelliert (Kilometer). Ein Aspekt, der in diesem Projekt besonders berücksichtigt wurde, ist die Qualität der Digitalisierung, die maßgeblich die visuelle Wahrnehmung des Besuchers beeinflusst. Hierzu wurde eine möglichst fotorealistischer Herangehensweise gewählt, sowohl in Hinsicht auf die räumliche Auflösung sowie die farbgetreue Erfassung der Objektoberflächen. Aufgrund des daraus resultierenden Datenumfangs, z.B. 800 GB allein für die Rohdaten des 3D-Scans, war es für die weiterführende Kombination sowie für die Entwicklung einer interaktive Applikation notwendig, den Datensatz unter Beibehaltung der Detailgenauigkeit drastisch zu reduzieren, sodass dieser einem breitem Publikum, auch mit leistungsschwächeren Rechnern, zugänglich gemacht werden kann, wozu maßgeblich Technologien aus dem Bereich des Game Designs genutzt wurden.

Ein maßgeblicher Aspekt bei der Vermittlung von kulturhistorischen Inhalten, vor allem in Hinsicht auf bildungsferne und jugendliche Nutzergruppen, ist der interaktive Zugang zu dem Digitalisat und die damit einhergehende Möglichkeit, dem Besucher selbstständig mit den Inhalten interagieren zu lassen. Die Verwendung von Game-Engines zur Interaktion mit dem Digitalisat ermöglicht hierbei eine vollkommen andere Form der Wahrnehmung als es mit Video-Animationen oder statischen Abbildungen möglich wäre. Dabei ist dieser Ansatzpunkt für Museen besonders vielversprechend, da dieser Nutzergruppe die Verwendung von digitalen Medien, wie z.B. Smartphones oder Tablets, besonders vertraut ist und das Digitalisat problemlos in Form einer Augmented-Reality (AR) App angeboten werden könnte, welches die Besucher auf ihr eigenes Gerät installieren, sodass dem Museum keine Hardware-Anschaffungen oder Wartungskosten entstehen.

Als Alternative zu den AR-Anwendungen und für eine immersive Erfahrung besonders gut geeignet, ist die Verwendung von HMDs (Head-mounted Displays) und VR (Virtual Reality) Technologie. Aufgrund der Möglichkeit, digitalisierte Inhalte stereoskopisch wahrzunehmen, kann der Benutzer problemlos Größenverhältnisse wahrnehmen und entsprechend die Relation zwischen Architektur und Landschaft in einer Art und Weise nachvollziehen, die mit klassischen zweidimensionalen Medien, wie Bildschirmen, nicht vermittelt werden können.

Das Projekt wurde von einem Filmteam von ARTE begleitet; der Beitrag wird am 17.6.2017 gesendet und dem Museum für Islamische Kunst zur Verfügung gestellt.

3. Ausblick

Im Rahmen der Neukonzeption des Museums für Islamische Kunst Berlin soll die die Alhambra-Kuppel im Kontext ihres Ursprungs gezeigt werden. Hierzu können prinzipiell zwei Ansätze verfolgt werden: Die Verwendung einer Augmented-Reality App, die der Besucher auf sein eigenes Smartphone bzw. Tablet herunterladen kann. Hierbei betrachtet der Besucher die originale Alhambra-Kuppel durch das Live-Bild der Kamera. Anhand von Messpunkten wird die Position des Gerätes im Raum bestimmt, sodass das 3D-Modell des Turmraums in das Live-Bild eingeblendet werden kann. Bewegt sich der Besucher mit der Kamera, wird das eingeblendete 3D-Modell ebenfalls korrekt in Relation zum Livebild der Kuppel mitbewegt. Für Besucher ohne Smartphones oder Tablets könnte ein Gerät, ähnlich wie die Audioguides, vom Museum selbst zur Verfügung gestellt werden.

Der zweite Ansatz wäre eine Medieninstallation mit HMD (Head-mounted Displays). Wie bereits erwähnt, ist dieser Ansatz deutlich immersiver, da der Betrachter die volle Raumwirkung dreidimensional erfahren kann; jedoch muss hier entsprechender Platz und eine Mindestanzahl an Gerätschaften zur Verfügung stehen.

Für die weiterführende, wissenschaftliche Auswertung zur Relation der Architektur und der naturräumlichen Umgebung ist die Simulation des Sonnenverlaufs von besonderem Interesse, da zu bestimmten Jahreszeiten die Sonnenstrahlen vom Wasserbecken vor dem Gebäude in den Turmraum auf die Kuppel reflektiert werden, was eine andere Raumwirkung erzeugt. Auch können mit der Implementierung des einstigen Sternenhimmels auf Basis von Stellarium-Dateien spezifische architektonische Gestaltungsweisen mit Bezügen zum Sternenverlauf erforscht werden.