TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Bauaufnahme und Echtzeitvisualisierung historischer Gebäude

Angewandte Photogrammetrie und Virtual Reality am Beispiel von Schloss Waldenfels

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Ferschin

E259.1
Digital Architecture and Planning

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung
von

Hanspeter Kals
01027377

Wien, am

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Die Vermittlung von Raumwirkungen und Atmosphären ist ein wichtiger Faktor in der Architektur. Besonders bei der Präsentation von Veranstaltungsräumen ist das Erleben der Raumwirkung entscheidend. Die Veranstalter sowie die auftretenden Künstler wollen wissen, welche Räumlichkeiten am Standort vorhanden sind und ob sich diese für ihr Vorhaben eignen.
Eine besondere Herausforderung stellt die Visualisierung von historischen Gebäuden und Räumen dar. Die Atmosphäre historischer Räume entsteht oft durch die über Jahrhunderte entstandene Patina, die Materialität und die besonderen Geometrien.
Mit der traditionellen 2D-Plandarstellung können diese Qualitäten nicht abgebildet werden. Auch Fotos oder Renderings stellen immer nur einen kleinen Ausschnitt dar.

Der Optimalfall einer Präsentation ist die Begehung vor Ort. Dies ist in der Realität oft nicht möglich. Mit der Methode der Photogrammetrie zur Bestandsaufnahme und Virtual-Reality als Präsentationsmedium können die Gebäude ortsunabhängig virtuell begangen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, zu evaluieren, ob die Bestandsaufnahme von großen und komplexen Gebäuden mittels Photogrammetrie möglich ist und welche Strategien notwendig sind. Ein Fokus liegt dabei auf der Kombination von UAV (Unmanned Aerial Vehicle)- und Hand-Aufnahmen.
Des Weiteren wird ein Workflow erarbeitet, welcher die Weiterverarbeitung des aus der Photogrammetrie entstandenen 3D-Modells, bis zur Präsentation von Veranstaltungskonzepten in Virtual-Reality beschreibt.

Um die Thematik in der Praxis zu Testen wird der Workflow am Beispiel Schloss Waldenfels praktisch angewendet. Es wird der gesamte Außenraum sowie die im Schloss vorhandenen Veranstaltungsräume photogrammetrisch vermessen und mit Virtual-Reality begehbar gemacht.
Zusätzlich wird eine Applikation entwickelt, die es ermöglicht, Szenarien für Veranstaltungen im gescannten Umfeld zu erstellen und in VR zu präsentieren.

Schlüsselwörter: Architekturdarstellung, Photogrammetrie, UAV, Schloss Waldenfels, Virtual-Reality

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abstract

The communication of spatial effects and atmospheres is an important factor in architecture. Especially in the presentation of event rooms, the experience of the spatial effect is essential. The organizers as well as the performing artists want to know which rooms are available at the location and whether they are suitable for their project.
A special challenge is the visualization of historical buildings and rooms. The atmosphere of historical rooms is often created by the patina that has evolved over centuries, the materiality and the special geometries.
These qualities cannot be displayed with the traditional 2D plan presentation. Even photos or renderings always show only a small section.

The ideal case of a presentation is an on-site inspection. This is often not possible in reality. With the method of photogrammetry for architectural survey and virtual reality as presentation medium the buildings can be visited virtually, independent of location.

The aim of this work is to evaluate whether the architectural survey of large and complex buildings by means of photogrammetry is possible and which strategies are necessary. One focus is on the combination of UAV (Unmanned Aerial Vehicle)- and hand- photographs.
In addition, a workflow will be developed which describes the further processing of the 3D model resulting from photogrammetry up to the presentation of event concepts in virtual reality.

In order to test the topic in practice, the workflow is practically applied using the example of Castle Waldenfels. The entire outdoor space as well as the event rooms in the castle will be photogrammetrically measured and made accessible with Virtual Reality.
In addition, an application will be developed that makes it possible to create scenarios for events in the scanned environment and present them in VR.

Keywords: Architectural presentation, Photogrammetrie, UAV, Castle Waldenfels, Virtual-Reality

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

Bauaufnahme

2. Methoden der Bauaufnahme 9
2.1 Handaufmaß 10
2.2 Tachymetrie 11
2.3 Laserscanning 12
2.4 Photogrammetrie 13
2.5 Bauaufnahme von historischen Gebäuden 14
3. Photogrammetrie 15
3.1 Geschichte 16
3.2 Verfahren 18
3.3 Einsatzgebiete der Photogrammetrie 20
3.4 Die Arbeitsschritte 21
3.4.1 Planung 21
3.4.2 Kamera 23
3.4.3 Kamera Einstellungen 25
3.4.4 Licht 28
3.4.5 UAV Aufnahmen(unmanned aerial vehicle) 29
3.4.6 Foto Nachbearbeitung 31
3.5 Berechnung des Modells 32

Virtual-Reality

4. Virtual Reality 37
4.1 Geschichte 38
4.2 Technische Grundlagen 41
4.3 Einsatzgebiete 42
4.4 Die Vorbereitung des Modells für VR 46
4.5 VR Entwicklungsumgebung 57

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5. VR-Eventplanung am Beispiel Schloss Waldenfels 63
5.1 Schloss Waldenfels 63
5.1.1 Die Entstehung 65
5.1.2 Die bauliche Entwicklung 67
5.1.3 Die aktuelle Nutzung 73
5.1.4 Veranstaltungsräume Richtlinien 75
5.1.5 Veranstaltungen Impressionen 77
5.2 Bauaufnahme 80
5.2.1 Planung der Abläufe 83
5.2.2 UAV-Aufnahmen 88
5.2.3 Hand-Aufnahmen 90
5.2.4 Foto-Nachbearbeitung 90
5.2.5 Modellerstellung 91
5.3 Modell Bearbeitung 97
5.3.1 Segmentierung 97
5.3.2 Bereinigung 99
5.3.3 Reduktion des Modells 100
5.3.4 Texturen 102
5.3.5 Statistik zur Bauaufnahme 103
5.3.6 Ergebnisse der Bauaufnahme 104
5.4 Die virtuelle Begehung 113
5.4.1 Schaubilder aus der Applikation 121
6. Resumé 123
Quellen 127
Abbildungsverzeichnis 129

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

1. Einleitung

Planen im historischen Kontext

Generell ist die Planung in historischen bzw. denkmalgeschützten Gebäuden eine besondere Herausforderung. Aufgrund des oft vorhandenen Denkmalschutzes ist es meist schwierig einen Kompromiss zwischen den behördlichen Auflagen und den Wünschen des Bauherrn zu finden. Zusätzlich wird die Planung durch veraltete, ungenaue oder nicht vorhandene Bestandspläne erschwert.

Aber auch wenn Planmaterial vorhanden ist, bleibt die Schwierigkeit der Vermittlung der atmosphärischen Qualitäten der Gebäude. Die Atmosphäre historischer Räume entsteht oft durch die über Jahrhunderte entstandene Patina, die Materialität und die besonderen Geometrien.

In einfachen zweidimensionalen Plänen sind diese Eigenschaften nicht ausreichend darstellbar.

Daher braucht es besondere Verfahren zur Bauaufnahme, welche die Gebäude nicht nur in ihrer Geometrie abbilden, sondern auch ihre visuellen Qualitäten wiedergeben.

Denkmalwerte

Der moderne Denkmalbegriffe wurde unter anderem durch Alois Riegl geprägt. Er definiertebereits 1903 verschiedene Wertekategorien für Denkmale:

Erinnerungswerte:
-Alterswert
-historischer Wert
-gewollter Erinnerungswert

Gegenwartswerte:
-Gebrauchswert
-Kunstwert
  -Neuheitswert
  -relativer Kunstwert

Erinnerungswerte:

Ein Denkmal ist ein Dokument der Geschichte und macht dadurch die Vergangenheit greifbar. Die Erinnerungen werden in den Denkmälern dokumentiert.

Der Alterswert umfasst die Spuren des Alterns, sowie die Geschichtlichkeit eines Denkmals. [Bacher 1995]

„Vom Standpunkt des Alterswertes muß eben nicht für ewige Erhaltung der Denkmale einstigen Werdens durch menschliche Tätigkeit gesorgt sein, sondern für ewige Schaustellung des Kreislaufes vom Werden und Vergehen, und eine solche bleibt auch dann garantiert, wenn an Stelle der heute existierenden Denkmale künftighin andere getreten sein werden.“ [Riegl, Bacher 1995: 72]

Der historische Wert umfasst alle Aspekt der Kunst- und Kulturgeschichte. Das Denkmal wird als historisches Dokument gesehen. Je besser der ursprüngliche Zustand erhalten ist, desto höher ist der historische Wert. Die Konservierung des Denkmals wird gefordert.

Der gewollte Erinnerungswert hat den Anspruch ein Denkmal niemals zur Vergangenheit werden zu lassen. Es soll wie bei seiner Errichtung erhalten bleiben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Gegenwartswerte:
Der Gebrauchswert beschreibt den Nutzen eines Denkmals. Durch einen hohen Grad an Nutzung des Denkmals wird auch die Erhaltung gewährleistet.
Der Kunstwert umfasst die ästhetischen Qualitäten eines Denkmals.
Der Neuheitswert wird durch die Altersspuren des Denkmals geschmälert. Um den Neuheitswert zu anzunähern bedarf es daher Eingriffe in Form von Ergänzungen, Wiederherstellungen, Rekonstruktionen, Übermalungen und so weiter.
Der relative Kunstwert ist abhängig von den gegenwärtigen ästhetischen Vorlieben. Die Sicht auf ein Denkmal verändert sich über die Zeit. Daher darf eine ästhetische Ablehnung niemals ein Grund für die Zerstörung oder Veränderung eines Denkmals sein. [Bacher 1995]

Die Wertekategorien widersprechen sich zum Teil gegenseitig und nehmen unterschiedliche Positionen ein. Das Wertesystem ist ein *„ausgeklügeltes Denkmodell, das alle historischen und erkenntnistheoretischen Dimensionen der Fragestellung miteinschließt, dabei aber auch die Projektion auf die Praxis, auf die Diskussion der praktischen Möglichkeiten und Grenzen der Denkmalpflege, das heißt auf die handelnde Intervention am Denkmal, erlaubt.“*[Bacher 1995: 8]

Die Charta von Venedig und das österreichische Denkmalschutzgesetz bauen unter anderem auf diesen Wertvorstellungen auf.

Standards der Baudenkmalpflege

Erfassen:
Der erste Schritt in der Baudenkmalpflege ist das Erfassen des Bestandes. Dies umfasst eine Bauaufnahme, bauhistorische, restauratorische und archäologische Erhebungen. Die Voruntersuchungen und Analysen am Gebäude bilden die Entscheidungsgrundlage für Erhaltungsmaßnahmen und Veränderungen.

Erhalten:
Die Erhaltung eines Denkmals betrifft alle Bauteile, Materialien, Oberflächen und Ausstattungen eines historischen Gebäudes. Auf Grundlage der Voruntersuchungen können Maßnahmen der Instandsetzung, Reparatur, Konservierung und Restaurierung beschlossen und durchgeführt werden.

Verändern:
Veränderungen der Nutzung und Umwelt des Denkmals bedürfen einer baulichen Anpassung. Wie groß der Eingriff sein darf, liegt im Verhältnis zwischen Denkmalwerten und Nutzungserfordernissen. Die Entscheidungsfindung liegt im Prozess und bedarf daher eine methodische Aufarbeitung, um für das konkrete Denkmal authentische Lösungen zu finden.
[Bundesdenkmalamt 2015]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Nutzungswandel historischer Gebäude

Um eine andauernde Pflege eines historischen Gebäudes zu gewährleisten, braucht es eine gewisse Motivation. Eine solche Motivation kann zum Beispiel die Nutzung der historischen Bausubstanz sein. Für ein nachhaltiges Nutzungskonzept müssen die architektonischen, wirtschaftlichen und immateriellen Aspekte berücksichtigt werden. [Meszarios 2010]
Vonseiten der Architektur ist auf eine authentische Erhaltung der Identität des Gebäudes Rücksicht zu nehmen. Die zum Teil über Jahrhunderte entstandene Patina ist Teil des Entwicklungsprozesses der Gebäude und gibt ihnen einen ganz eigenen Charakter. Jedoch ist nicht nur die äußerliche Erscheinung des Alterswertes von Bedeutung. Ebenso wichtig ist der dazugehörige geschichtliche Hintergrund des Denkmals. [Bacher 1995]

„Die Beiträge aller Epochen zu einem Denkmal müssen respektiert werden: Stileinheit ist kein Restaurierungsziel." [Charta von Venedig, Artikel 11]

Die Finanzierung

Das Nutzungskonzept sollte so ausgelegt sein das sich das Gebäude über die Nutzung selbst finanziert. Befindet sich das Gebäude in staatlichem Besitz, ist eine öffentliche bzw. touristische Nutzung naheliegend. In diesem Fall sind in der Regel genügend Gelder für die Renovierung zur Verfügung. Als Beispiele für eine sehr gelungene Umsetzung ist das Schloss Schönbrunn und Schloss Hof zu nennen. Bei beiden Schlössern wurde eine GmbH gegründet, die vom Bund zur Erhaltung und Pflege beauftragt ist. Die Räumlichkeiten der Schlösser werden für Ausstellungen, Führungen, Gastronomie, Veranstaltungen, Dreharbeiten, Kongresse usw. zur Verfügung gestellt. Durch diese Einnahmen können die laufenden Renovierungsarbeiten finanziert werden.[Meszarios 2010]
Bei Schlössern im Privatbesitz ist die Finanzierung der Renovierungsarbeiten schwieriger.
Die häufigsten Nutzungsformen sind:

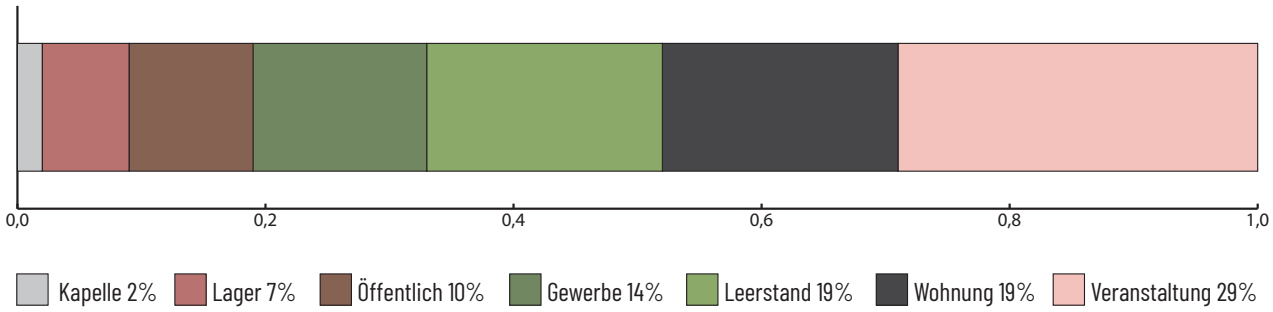


Abb. 01: Nutzungsaufstellung von Schlössern, basierend auf Meszarios 2010

Die oft prunkvollen und großen Räume eignen sich vor allem für eine Nutzung als Veranstaltungsort. Um Veranstalter auf sein Gebäude aufmerksam zu machen und für seine Räumlichkeiten zu gewinnen, braucht es wiederum eine entsprechende Vermittlung des Bestandes.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Auswahl des Veranstaltungsortes

Jeder Veranstalter hat andere Wünsche und Bedürfnisse für sein geplantes Event. Die Auswahl des richtigen Ortes ist abhängig von einigen Faktoren, welche den potentiellen Nutzern zur Verfügung gestellt werden müssen. Zum einen werden Informationen zu den vorhandenen Räumen benötigt. Wichtige Aspekte sind die Abmessungen und die Atmosphäre der Räume. Zum anderen müssen die Veranstalter wissen, wie diese Räume bespielt werden können.

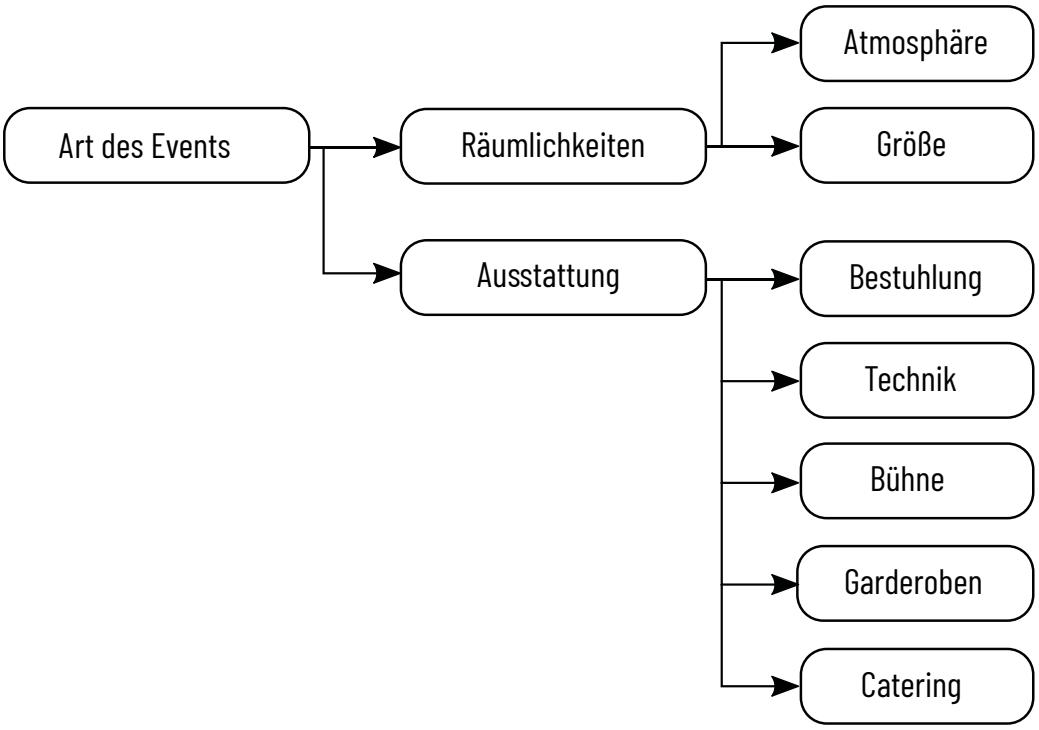


Abb. 02: Eckdaten zur Auswahl eines Veranstaltungsortes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Aktuelle Präsentation von Veranstaltungsräumen im historischen Kontext

Der Großteil der Präsentationen erfolgt über herkömmliche Methoden wie Fotografien und Plänen mit textlicher Beschreibung.

Die Beschreibung der Räume und der möglichen Ausstattung ist meist sehr detailliert ausformuliert. Über diese Informationen können die Räume, im Hinblick auf Ausstattung und Größe, auf ihre Tauglichkeit geprüft werden.

Auf den Fotografien werden meist die leeren Räume gezeigt. Zusätzlich werden die Aufnahmen oft noch durch Impressionen von verschiedenen Veranstaltungen, die bereits dort abgehalten wurden, ergänzt. Über die Fotografien wird ein grundlegender Eindruck über die Atmosphäre der Räume vermittelt.

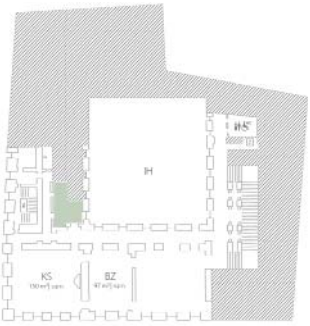
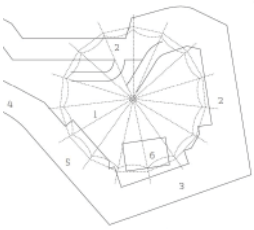


Abb. 03: Stadtpalais Liechtenstein, Grundriss erstes Geschoss,

Abb. 04: Stadtpalais Liechtenstein, KS Konzertsaal,

Abb. 05: Festung Kufstein, Festungsarena Konzert,



festungsarena	m²	Kapazität sitzend	Kapazität stehend
festungsarena[1]	2.430	2.000	3.700
Kasemattendach[2]	×	×	500
Eventkasematten[3]	30 (x16)	à 16	nach Event
Multifunktions-gebäude[4]	63	48	80
Kriegsbäckerei Gastronomie[5]	80	60	120
Bühne[6]	**Breite m**	**Lichte Höhe m**	**m²**
Mai bis Juli	12	5,45	120

Abb. 06: Festung Kufstein, Festungsarena Beschreibung,

Abb. 07: Festung Kufstein, Festungsarena,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 08: Schloss Hof, Barockstall leer,

Abb. 09: Schloss Hof, Barockstall mit Event-Setup,

Abb. 10: Hofburg Panoramabegehung, Festsaal mit Sesselreihen,

Abb. 11: Hofburg Panoramabegehung, Festsaal Silvester Ball,

Darüber hinaus präsentieren zum Beispiel Schloss Hof oder die Wiener Hofburg ihre Räumlichkeiten zusätzlich über eine virtuelle Begehung.
Dafür wurde in jedem Raum eine oder mehrere 360° Fotografien angefertigt. Der Nutzer kann sich so, vom Standort der Aufnahme aus, im Raum umsehen. Dabei kann zum Teil auch zwischen verschiedenen Veranstaltungsszenarios gewählt werden.
Über das wechseln zwischen den verschiedenen Aufnahmestandorten kann man sich nach und nach ein Bild des gesamten Gebäudes machen.
Diese Begehung kann entweder auf dem Computerbildschirm oder über eine Virtual-Reality-Brille gemacht werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bauaufnahme

2. Methoden der Bauaufnahme

Bauaufnahme ist ein sehr umfassender Begriff. Das Ergebnis und der Umfang ist stark von der Aufgabenstellung abhängig. Grundsätzlich wird als Bauaufnahme die Erfassung eines bestehenden Gebäudes oder Raumes bezeichnet. Aus den Messdaten werden traditionell 2D- Pläne erstellt und an die Planer weitergegeben. Für die meisten Bauaufnahmen sind jedoch nicht nur die reinen Abmessungen entscheidend. Die Pläne werden deshalb durch Beschreibungen und Anmerkungen ergänzt. Es braucht zum Beispiel Informationen zur Konstruktion, Bauphysik, zu den verwendeten Materialien, den geschichtlichen Hintergründen und dem Zustand der Bausubstanz. Welche spezifischen Informationen für den Planungsprozess notwendig sind, weiß oft nur der Planer selbst. Die selbstständige Bauaufnahme durch den Planer wäre daher anzustreben. Die meisten Planungsbüros sind für solche Einsätze jedoch nicht mit dem entsprechenden Equipment ausgerüstet und haben auch nicht das notwendige Know-how. Durch die Einführung der dreidimensionalen Modellierung und BIM in der Planung werden zum Teil auch ganz neue Anforderungen an die Bauaufnahme gestellt.
[Donath 2008]
Im folgenden Abschnitt werden gängige Methoden zur Bauaufnahme kurz umrissen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2.1 Handaufmaß

Das Handaufmaß ist die technisch einfachste Variante der Vermessung. Es kommen einfache Werkzeuge wie Gliedermaßstab oder Maßband zum Einsatz. Diese Methode kommt überall dort zum Einsatz, wo einfache Geometrien vorhanden sind und nur die Grund- oder ganz spezifische Maße aufgenommen werden. Bei nicht orthogonalen Räumen stößt man mit dieser Methode schnell an seine Grenzen. Das Ergebnis ist immer abhängig von der Sorgfalt des Vermessers und kann dadurch stark variieren.

Das reine Handaufmaß hat in der ganzheitlichen Bauaufnahme kaum noch Bedeutung. Zum Ausmessen einzelner Naturmaße oder zur schnellen, ungefähren Aufnahme von Raumabmessungen ist diese Methode jedoch noch immer die effizienteste.

Eine Weiterentwicklung ist das computergestützte Handaufmaß. Bei dieser Methode werden zu Beginn die Umrisse des Raumes in der Aufmaß-Software grob skizziert. Anschließend werden die einzelnen Eckpunkte des Raumes mittels Laser-Messgerät eingemessen. Die Messdaten werden direkt in der Software erfasst und das Modell wird nach und nach generiert. Die Genauigkeit dieser Variante ist ebenfalls abhängig von der Sorgfalt der vermessenden Person, der Zeitaufwand für die Erstellung des Plans ist jedoch um einiges geringer. [Donath 2008]

Für einzelne Räume oder Details im Raum eignet sich die Methode des Handaufmaßes durchaus. Bei größeren und nicht orthogonalen Strukturen oder Raumabfolgen können jedoch die Ungenauigkeiten sehr groß werden.

Abb. 12: Entfernungsmesser

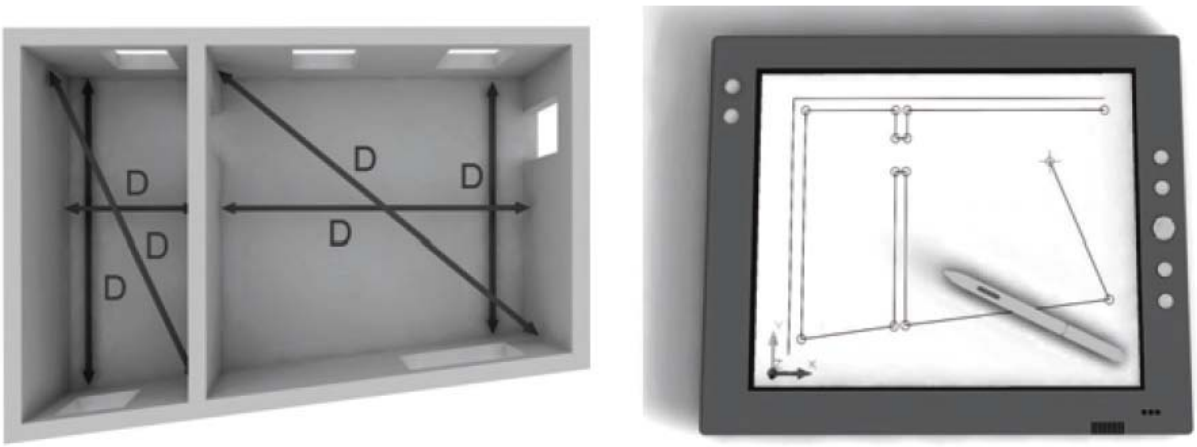


Abb. 13: Computer gestütztes Handaufmaß, Donath Dirk (2008)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2.2 Tachymetrie

Abb. 14: Tachymetrie, leica-geosystems

Beim Verfahren der Tachymetrie werden Lage und Höhe eines Messpunktes gleichzeitig erfasst. Das Messgerät wird über einem bekannten Messpunkt platziert und mittels Libelle horizontal ausgerichtet. Anschließend wird der zu vermessende Punkt anvisiert und die Messung ausgelöst. Als Resultat der Messung werden der Abstand, der vertikale Winkel und der horizontale Winkel ausgegeben.
Diese Daten können direkt an eine Aufmaß-Software weitergeleitet und dort gleichzeitig zu einer Planzeichnung formuliert werden. Durch die grafische Darstellung, können die Messdaten direkt kontrolliert und mögliche fehlende Messungen unmittelbar vor Ort erkannt und ergänzt werden.
Um ein Gebäude in seiner Gänze geometrisch aufzunehmen, sind unzählige Einzelmessungen von unterschiedlichen Standpunkten notwendig. Zur Verknüpfung der einzelnen Messungen muss ein Messnetz mit Orientierungspunkten angelegt werden. Durch das Einmessen dieser Punkte von jedem neuen Standpunkt aus kann die neue Position bestimmt werden. Das Verfahren eignet sich durchaus zur Vermessung komplexer Geometrien. Durch Aufteilung der Geometrie in geometrische Grundkörper können die meisten Elemente durch wenige Punkte beschrieben werden. Der zeitliche Aufwand, für eine vollständige Geometrieermittlung eines Gebäudes, ist jedoch sehr groß. Deshalb wird diese Methode meist in Kombination mit anderen eingesetzt. [Donath 2008]

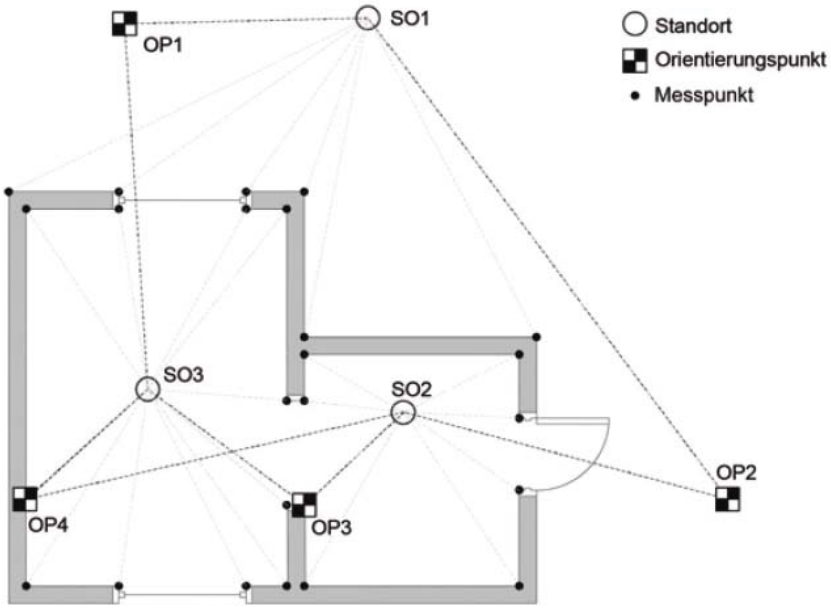


Abb. 15: Tachymetrie, Donath Dirk (2008)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2.3 Laserscanning

Abb. 16: Laserscanner, leica-geosystems

Beim Laserscanning wird die Oberfläche eines Objektes mittels Laserstrahlen reihenweise abgetastet. Als Resultat erhält man eine 3D-Punktwolke des Objektes. Es sind meist mehrere Standpunkte zum Messen eines Objektes notwendig. Diese Positionen werden mittels Passpunkten wieder miteinander verknüpft. Ein Passpunkt ist ein auf dem Objekt oder im Gelände markierter Punkt, der von den unterschiedlichen Standorten aufgenommen wird. Der Aufnahmeprozess an sich ist in relativ kurzer Zeit durchführbar. Der arbeitsintensive Bereich beim Laserscanning ist die Verarbeitung der Daten. Das Verhältnis der Zeit für die Aufnahme und der Zeit für die Nachbearbeitung im Büro ist in etwa 1:10.
Die extrem hohen Anschaffungskosten der notwendigen Ausrüstung und das speziell geschulte Personal können sich meist nur Firmen leisten, die auf Laserscanning spezialisiert sind. Daher wird diese Form der Bauaufnahme nicht so schnell in Architekturbüros Einzug finden. [Willibald 2011]

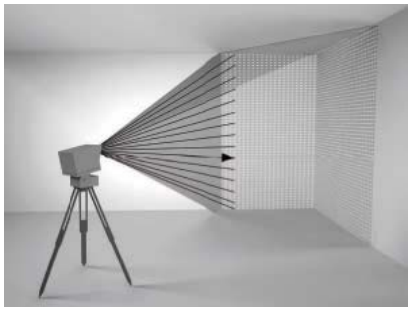


Abb. 17: Laserscanning Prinzip, Donath Dirk

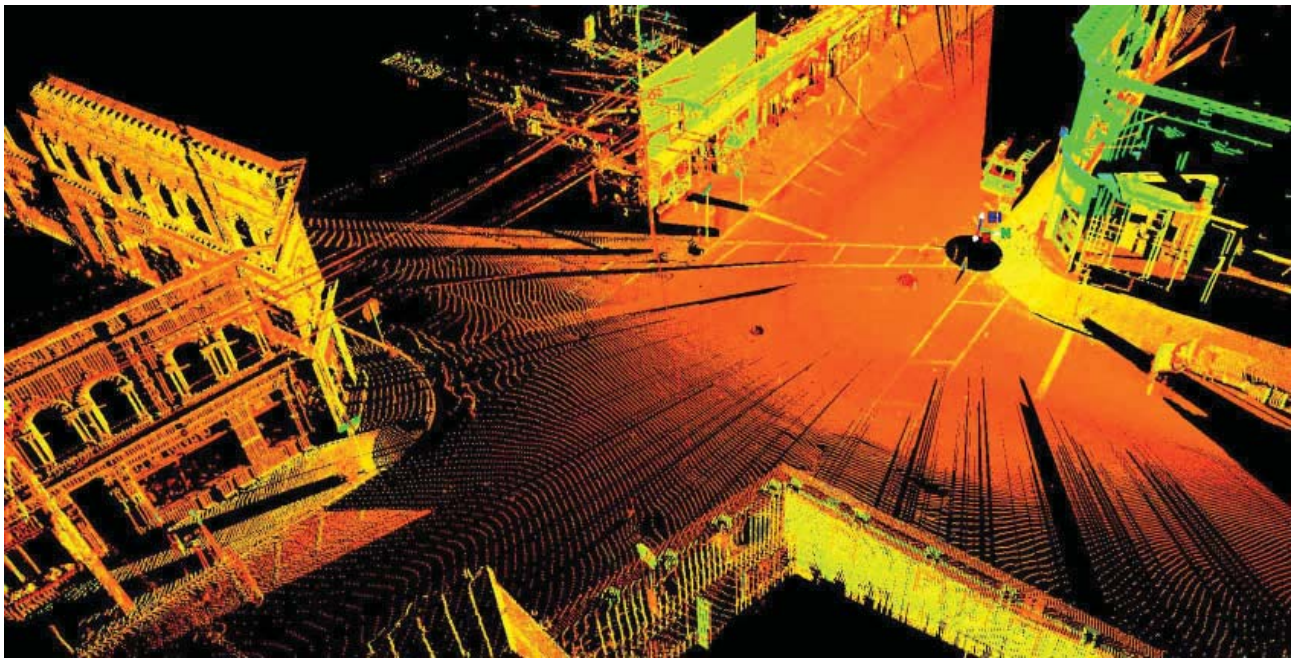


Abb. 18: Laserscan, Foto: Jeremy Mitchell

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2.4 Photogrammetrie

Photogrammetrie ist ein Messverfahren, um Geometrie aus Fotografien zu generieren. Photogrammetrie unterscheidet sich in einem Punkt klar von den anderen Vermessungsverfahren. Durch die Vermessung mit Fotografien wird nicht nur die Geometrie erfasst. Es werden ebenso die Oberflächen, Materialien und Schäden sichtbar. Als Resultat erhält man ein texturiertes 3D-Modell des Bestandes. Dadurch eignet sich diese Methode besonders für Objekte bei denen die Aufnahme der visuellen Qualitäten von Bedeutung ist. Dieses Verfahren wird im Bereich der Architektur vor allem in der Denkmalpflege und Archäologie eingesetzt.

Der Prozess der Photogrammetrie gliedert sich, wie das Laserscanning, in den Bereich der Aufnahme am Objekt und der Ver- und Nachbearbeitung am Computer. [Donath 2008]

Durch eine gute Planung der Aufnahmeabfolge kann viel Zeit gespart werden. Wenn die Fotografien mit den richtigen Einstellungen und aus geeigneten Standpunkten erstellt werden, benötigt es kaum noch manuelle Nachbesserung in der Verarbeitung. Die Fotografien können durchaus mit handelsüblichen Handy- oder Spiegelreflex-Kameras gemacht werden.

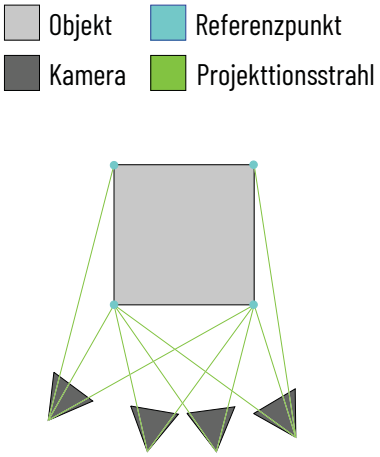


Abb. 19: Grundprinzip Photogrammetrie

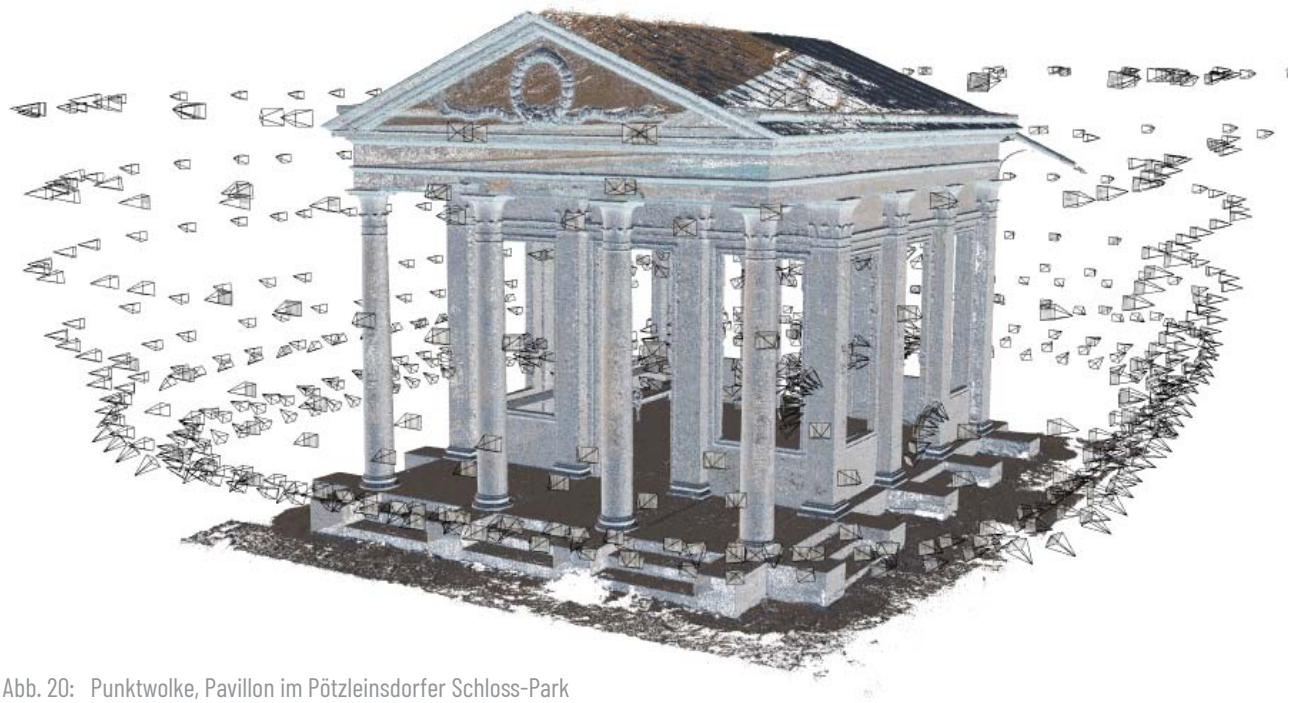


Abb. 20: Punktwolke, Pavillon im Pötzleinsdorfer Schloss-Park

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.5 Bauaufnahme von historischen Gebäuden

Besonders bei der Bestandsaufnahme historischer Gebäude, ist die zu verwendende Methode und der Umfang stark vom gewünschten Ergebnis abhängig.
Die einfachste Art der Bauaufnahme ist jene für die Archivierung von Objekten. Es werden vorhandene Informationen und Pläne zusammengetragen, digitalisiert und in eine Datenbank eingespeist. Diese Methode kann zur reinen Katalogisierung verwendet werden, oder als Grundlage für weiterführende Bearbeitung dienen.
Die nächste Art der Bauaufnahme umfasst eine detaillierte Dokumentation des Bestandes. Die vorhandenen Unterlagen werden auf Richtigkeit überprüft, wenn nötig berichtigt und digitalisiert. Nicht vorhandene oder ungenaue Bereiche werden neu vermessen. Daraus werden meist 2D-Pläne erstellt. Dieses Planmaterial wird durch Beschreibungen zu Räumen, Materialität, geschichtlichen Bezug, Schäden usw. ergänzt. Das Resultat kann zum Beispiel ein Maßnahmenkatalog für einen vertiefende Planung sein.
Wenn ein noch höherer Detailgrad der Aufnahme gefordert ist, braucht es dementsprechend auch zusätzliche Methoden zur Erfassung des Bestandes. Bei sehr detaillierten Projekten kann eine Kombination von Handaufmaß, Tachymetrie, Laserscanning und Photogrammetrie zum Einsatz kommen. In so einem Fall ist die Verknüpfung der einzelnen Messungen in ein übergeordnetes Bezugssystem entscheidend. Selbst bei der Anwendung dieser Technologien ist eine ganzheitliche Aufnahme bis ins kleinste Detail, aufgrund der enormen Datenmengen und Informationsdichte kaum möglich. Ein für das Projekt adäquater Abstraktionsgrad ist zu wählen. Das Resultat kann von einer Analyse komplexer Tragstrukturen, über die Dokumentation von detaillierten Ornamenten, bis hin zur virtuellen Begehung des Objektes reichen. [Donath 2008]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3. Photogrammetrie

Photgrammetrie findet in vielen verschiedenen Disziplinen ihre Anwendung. Die Aufteilung der unterschiedlichen Aufnahmemethoden erfolgt über die Aufnahmeentfernung, die Anzahl der Aufnahmen, die Auswertungsart und nach Anwendungsbereich. In dieser Arbeit wird vor allem auf die Nahbereichsphotogrammetrie mit Mehrbildaufnahme und digitaler Auswertung, im Anwendungsbereich Architektur, eingegangen. Wie der Name vorwegnimmt, werden bei der Nahbereichsphotogrammetrie Objekte aus geringer Entfernung aufgenommen. Die Distanz zum Objekt bewegt sich von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Hundert Metern. Im Bereich der Architektur werden Genauigkeiten von einem zehntel Millimeter bis zu einem Zentimeter erzielt. [Luhmann 2018]

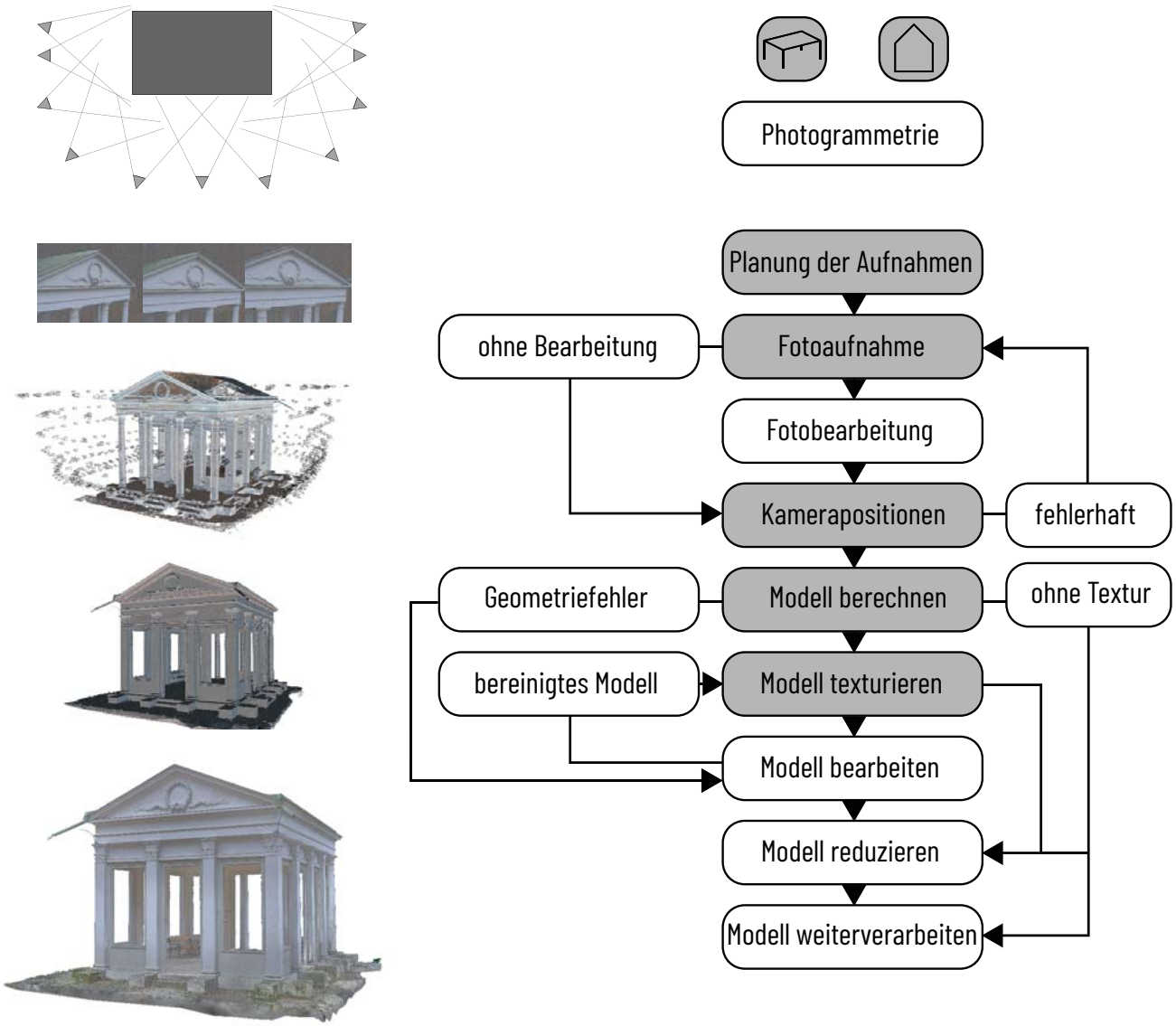


Abb. 21: Photogrammetrie Ablaufdiagramm

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.1 Geschichte

Abb. 22: Albrecht Meydenbauer, Jörg Albertz

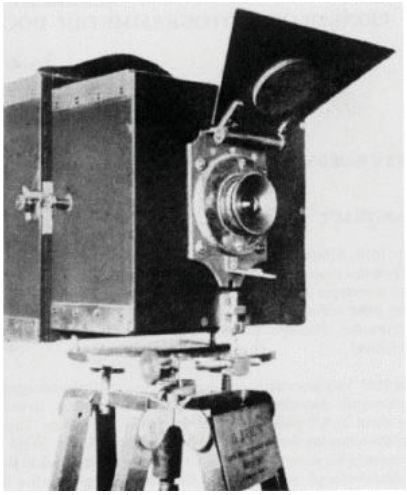


Abb. 23: Die erste photogrammetrische Kamera von Meydenbauer, Jörg Albertz

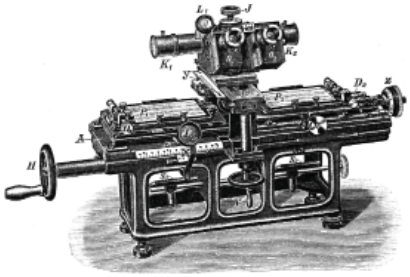


Abb. 24: Stereokomperator nach Pulfrich (Zeiss, ab 1901), Luhmann Thomas (2018)

Die Photogrammetrie hat wie viele andere technische Errungenschaften ihren Ursprung im militärischen Kontext. Als Erfinder der Photogrammetrie gilt der französische Offizier und Wissenschaftler Aimé Laussedat. Er experimentierte bereits 1849 mit perspektivischen Bildern und entwickelte daraus ein Verfahren zur Vermessung von Topologie für militärische Zwecke.
Im Bereich der Architektur war der Architekt Albrecht Meydenbauer einer der Ersten, der Fotografien zur Vermessung von Fassaden verwendete. Die Vermessung von großen Fassaden war damals ein gefährliches Unterfangen. Die Messungen wurden direkt am Objekt vorgenommen und der Vermesser musste nicht selten in großer Höhe an unzugängliche Bereiche des Gebäudes. Meydenbauer stürzte bei einer Vermessung beinahe in die Tiefe und beschloss daher ein Verfahren zu entwickeln, bei dem man aus der Ferne eine Vermessung durchführen kann. Durch die Gesetze der Perspektive können aus der Fotografie die einzelnen Maße berechnet werden. Er sah schon damals den Wert dieser Technik zur Aufnahme von Denkmälern, fand aber wenig Beachtung. 1865, als er auf der `photographischen Ausstellung` in Berlin einige seiner Ergebnisse präsentierte, bekam er Zuspruch und zog daraus neue Motivation. Zusammen mit Franz Stolze entwickelte Meydenbauer mehrere Aufnahmeapparate. Die Kirche St. Castor wurde als erstes Projekt mit den neuen Geräten aufgenommen. Auf einer Expedition machte Stolze Aufnahmen der Freitagsmoschee und von mehreren archäologischen Objekten. Durch diese Ergebnisse bekam Meydenbach Unterstützung aus der Politik und konnte 1885 eine Messanstalt gründen. Im Auftrag des Staates konnte er von 1885-1909 doch noch sein anfänglich angestrebtes Ziel eines deutschen Denkmalarchivs umsetzen. Daraus entstanden rund 16.000 Aufnahmen von deutschen Baudenkmälern. Diese Entwicklungsphase wird als Messtischphotogrammetrie bezeichnet.
Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der Stereokomparator vom deutschen Physiker und Optiker Carl Pulfrich gebaut. Durch dieses Gerät wurde das Messen von Bildkoordinaten aus stereoskopischen Aufnahmen möglich. Bei diesem Verfahren ist die Genauigkeit der Bildpunktzuordnung gegenüber der Einbild Auswertung erhöht. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts wurden einige Geräte zur photogrammertischen Stereoauswertung entwickelt und weiterentwickelt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

1950 erschien das erste deutschsprachige Lehrbuch über Photogrammetrie für nicht topographische Anwendung. Diese Entwicklungsphase wird als Analogphotogrammetrie bezeichnet.
Mit dem Aufkommen der elektronischen Rechner beginnt die Phase der analytischen Photogrammetrie. Es werden Programme zum Bündelausgleich entwickelt. Der Bündelausgleich ermöglicht das Auswerten von Fotografien aus beliebigen Positionen und die gleichzeitige Berechnung der Kamerakalibrierungsdaten. Diese neue Methode läutet den Übergang von Messkammern zu Fotosystem Kameras ein. Auch die Stereophotogrammetrie verliert an Bedeutung. Mit der zunehmenden Verbesserung der Rechnertechnologie und der Möglichkeit zum Verarbeiten digitaler Bilder in den 1980ern, verlagert sich die Photogrammetrie immer mehr in den digitalen Bereich. Der voll digitale Einsatz war Anfangs durch die geringe Auflösung der Kameras eingeschränkt. Durch die Entwicklung handlicher und hochauflösender Digital-Kameras in den 1990ern fand die Messtechnik neue Einsatzgebiete. Nach und nach entwickelten sich die Systeme für die Mehrbildauswertung weiter. Heute gibt es bereits unzählige Programme, die hauptsächlich auf der Basis des Structure-from-Motion-Verfahrens funktionieren. Es können Bildverbände vollautomatisch ausgerichtet werden und daraus hoch dichte Punktwolken generiert werden. [Luhmann 2018]

Abb. 25: Photogrammetrie Open-Source Programm Colmap

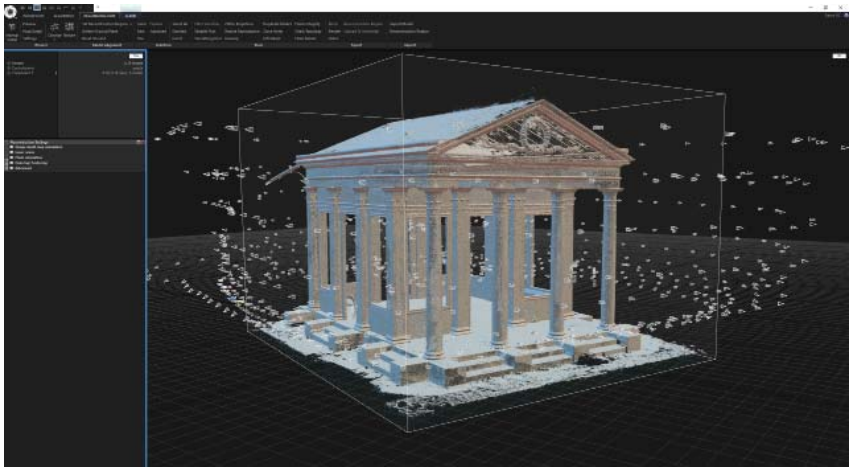


Abb. 26: Photogrammetrie Programm Reality-Capture

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.2 Verfahren

Einzelbildauswertung:

Ihre Anfänge hatte die Photogrammetrie mit der Auswertung einzelner Bilder. Diese Methode dient hauptsächlich zum Vermessen ebener Oberflächen. Auf Grundlage der geometrischen Regeln der Zentralperspektive, können die einzelnen Maße ermittelt werden. Die Entzerrung funktioniert nur bei flachen Objekten wie Fassaden mit wenig oder keinen Vorsprüngen, deshalb kommt die Einzelbildauswertung hauptsächlich im Bereich der Vermessung von zwei dimensionalen Elementen zum Einsatz. Alle Elemente die hinter oder vor der Arbeitsebene liegen sind in der entzerrten Abbildung nicht korrekt abgebildet. Durch die perspektivische Abbildung kann auch der Aufnahmestandpunkt relativ zum Objekt eruiert werden. Die Genauigkeit dieser Methode bewegt sich im Bereich von +-5cm. Über einfache Software kann über wenige Angaben eine automatische Entzerrung vorgenommen werden. Es gibt einige Varianten an möglichen Angabe für die Software. Die erste Variante ist über zumindest vier Passpunkte. Diese müssen eingemessen und in einem übergeordneten Koordinatensystem erfasst sein. Über diese vier bekannten Punkte kann das Bild anschließend von der Software entzerrt werden. Eine andere Variante ist über zwei rechtwinklig zueinander liegende Vektoren. Die angegebenen Strecken müssen für die Entzerrung bekannt sein. Die dritte Variante ist über die Angabe eines beliebigen Vierecks mit einer Diagonalen. In diesem Fall müssen die eingezeichneten Strecken wiederum bekannt sein. Die genauesten Ergebnisse sind mit der Methode der Passpunkte zu erzielen. Je mehr Punkte angegeben werden, desto genauer wird die Berechnung. [Donath 2008]

Stereobildauswertung:

Bei der Stereobildauswertung werden die Objektkoordinaten aus zwei Bildern ermittelt. Durch den Einsatz eines Bildpaares kann die Lage der einzelnen Objektpunkte im dreidimensionalen Raum ermittelt werden. Der Prozess setzt sich aus mehreren Schritten zusammen. Als erster Schritt wird meist die Eruierung von Verknüpfungspunkten durchgeführt. Diese Punkte werden entweder visuell oder über verschiedene Bilderkennungsalgorithmen ausgewählt. Durch die fehlende Kenntnis über die Kamerapositionen und Orientierungen, ist von einer gewissen Fehlerquote in der automatischen Verknüpfung der Punkte auszugehen.

Im nächsten Schritt werden die Bilder in Ihrer Lage orientiert. Die äußere Orientierung des Bilderpaares kann theoretisch für jedes Bild unabhängig durchgeführt werden. Bei dieser Methode werden jedoch eingemessene Passpunkte benötigt. Da sich im Normalfall der Ausschnitt der beiden Bilder ca. 60% überschneidet, können diese Verknüpfungen zur Ermittlung der äußeren Orientierung herangezogen werden. Die Orientierung kann über die Bündeltriangulation oder über eine zweistufige Herangehensweise gelöst werden. In der zweistufigen Variante werden zuerst die Kameras zueinander, in einem eigenen Koordinatensystem orientiert. Diesen Prozess nennt man relative Orientierung. Im nächsten Schritt werden die orientierten Kameras über Passpunkte, in ein übergeordnetes Objektkoordinatensystem überführt.

Nach der Orientierung können über das Verfahren des Vorwärtsschnitts die weiteren Objektpunkte berechnet werden. [Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Mehrbildauswertung:

Die Entwicklung des Verfahrens der Bündeltriangulation Mitte des 20. Jahrhunderts, brachte neue Möglichkeiten zur Auswertung mit sich. Es können durch diese Methode beliebig viele Bilder, aus unterschiedlichen Standorten und Winkel zum Objekt, verknüpft und in ihrer Orientierung und Lage zum Objekt bestimmt werden. Zur Rekonstruktion eines Objektpunktes muss dieser zumindest in zwei Bildern ersichtlich sein. Für eine gleichbleibende Genauigkeit über das gesamte Objekt sollte jeder Punkt jedoch in drei bis vier Bildern vorkommen. Diese Methode eignet sich besonders dort, wo Teile aus bestimmten Blickwinkeln verdeckt sind, Innen- und Außenaufnahmen gemacht werden oder für schwer zugängliche Bereiche. Da keine exakten Aufnahmeabfolge eingehalten werden muss, können einfach mehrere Sequenzen in verschiedenen Entfernungen und Winkeln aufgenommen und anschließend über den Algorithmus der Bündeltriangulation, orientiert werden. [Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.3 Einsatzgebiete der Photogrammetrie

Architektur, Archäologie
-Bauaufnahme
-Basis für BIM-Modelle
-Aufnahme von Stadtstrukturen
-Dokumentation und Analyse von historischen Objekten
-Aufnahme von archäologischen Ausgrabungen

Abb. 27: Kirchenvermessung, jalasca

Autoindustrie, Maschinenbau
-Simulation verschiedener Prozesse in der Fertigung und Steuerung
-Form- und Maßkontrollen

Luft- Raumfahrt
-Vermessung von Parabolantennen und Parabolspiegeln
-Ausrichtung und Überprüfung von Vorrichtungen
-Weltraumsimulationen

Abb. 28: 3D-Modell des Forums in Pompeji, Research Gate

Medizin
-Zahnvermessung
-Wirbelsäulendeformationen
-Bewegungsstudien

Unfallaufnahme
-Verkehrsunfälle
-Tatort
-Beweissicherung

Abb. 29: Unfallaufnahme, Jens Petersen

Animation, Film
-Körperaufnahme
-Bewegungsanalyse
-3D-Filme

Naturwissenschaften
-Strömungsmessungen
-Wachstum von Kristallen, Pflanzen
-Gletscher und Hangvermessungen
[Luhmann 2018]

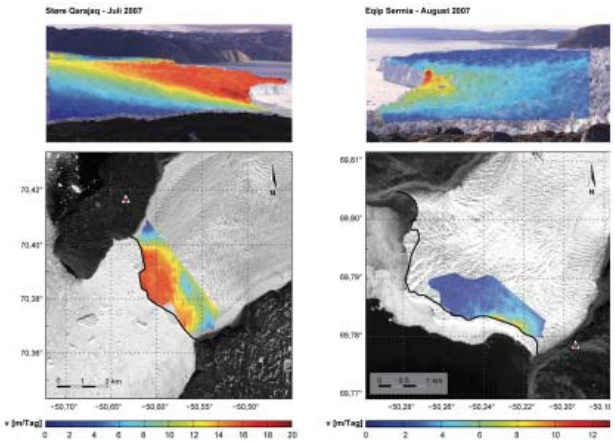


Abb. 30: Gltscheranalyse,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4 Die Arbeitsschritte

3.4.1 Planung

Der Arbeitsprozess der Photogrammetrie beginnt mit der Auswahl eines geeigneten Objektes. Mit Photogrammetrie gut erfassbare Oberflächen sind kontrastreich, weisen unregelmäßige Strukturen auf und sind matt. Monotone Oberflächen, wie weiße glatte Wände oder glänzende bzw. spiegelnde Oberflächen können nicht oder nur mit besonderen Techniken aufgenommen werden.

Wenn ein geeignetes Objekt vorliegt, sollte ein grundlegender Aufnahmeplan erstellt werden. Je nach Größe des Projektes muss unter Umständen eine Aufteilung der Aufnahmen in Abschnitte stattfinden. Ein wichtiges Element in der Planung für Aufnahmen im Außenbereich ist das Wetter. Die besten Ergebnisse werden bei einer geschlossener Wolkendecke erreicht. Durch das bei dieser Wetterlage bestehende diffuse Licht ist eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung mit wenig Schattenwurf gewährleistet. Die Aufnahmen der einzelnen Abschnitte sollten aufgrund der Wetter und Tageszeit abhängigen Belichtung, möglichst schnell in einem Durchlauf ausgeführt werden, da sich die Lichtfarbe je nach Tageszeit ändert.

Die Positionierung beweglicher Elemente, wie zum Beispiel Türen oder Möbel, sollte im Vorhinein definiert werden. Nach Beginn der Aufnahmen dürfen keine Änderungen mehr vorgenommen werden, ansonsten könnten fehlerhafte Geometrien und Texturen berechnet werden.

Für die einzelnen Aufnahmen sind einige Regeln zu beachten. Jeder Punkt eines Objektes muss mindestens in zwei Bildern sichtbar sein, besser jedoch in drei oder mehr. Damit die Aufnahmen im Alignement Prozess miteinander verknüpft werden können, braucht es zumindest eine sechzigprozentige Überlappung der benachbarten Bilder, zu empfehlen sind jedoch 80 bis 90 %.

Die ideale Aufnahme erfolgt aus drei Standpunkten. Wie rechts dargestellt, bildet die mittlere Kamera 1, mit der frontalen Aufnahme die Grundlage. Kamera 2 und 3 werden 15° schräg zur Kamera 1 aufgenommen. Mit diesem Setup werden sehr gute Ergebnisse erreicht.

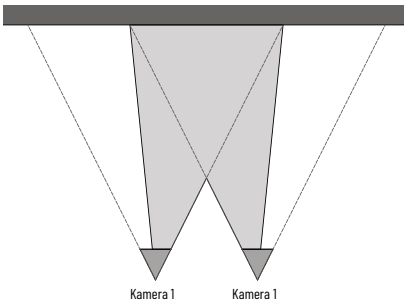


Abb. 31: Überlappung der Aufnahmen

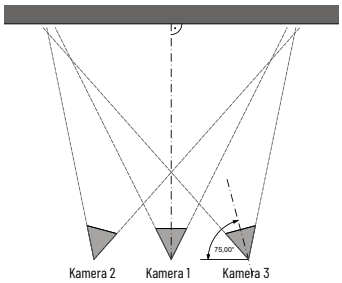


Abb. 32: Ideale Aufnahme

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Für größere und Komplexere Objekte ist das Ideal-Setup nur bedingt anwendbar. Bei der Anwendung auf ein einfaches Objekt, wie in der unten gezeigten Abbildung, mit drei aufzunehmenden Oberflächen, benötigt man mit der idealen Methode bereits fünfzehn Fotos. Bei größeren Objekten summiert sich die Anzahl der Aufnahmen.

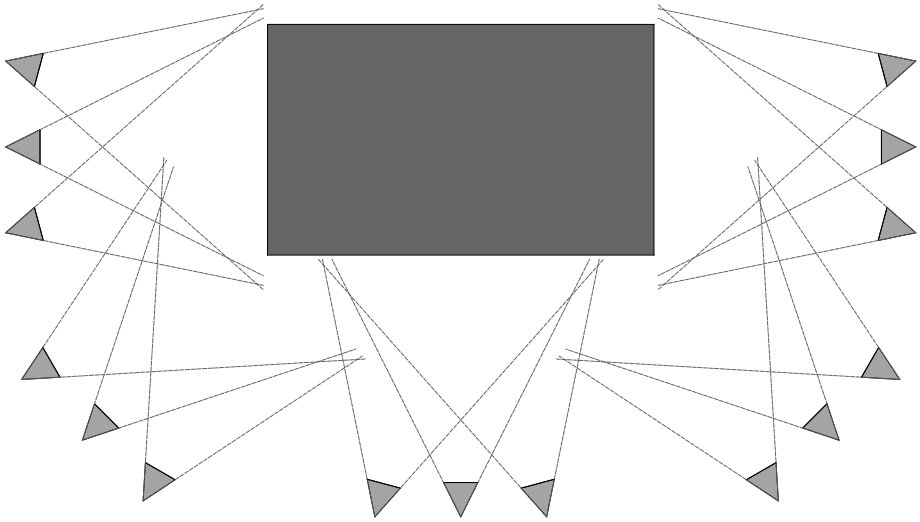


Abb. 33: Optimale Aufnahmeanordnung

Die Menge an Aufnahmen kann grundsätzlich reduziert werden. Die Überlappungen der benachbarten Bilder, sollte jeweils sechzig Prozent nicht unterschreiten, ansonsten ist mit Lücken in der Rekonstruktion zu rechnen. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass bei den jeweils letzten Aufnahmen eine weitere um ca. fünfzehn grad verschwenkte Aufnahme erstellt wird. Dies gewährleistet eine ausreichende Überlappung an den Rändern.

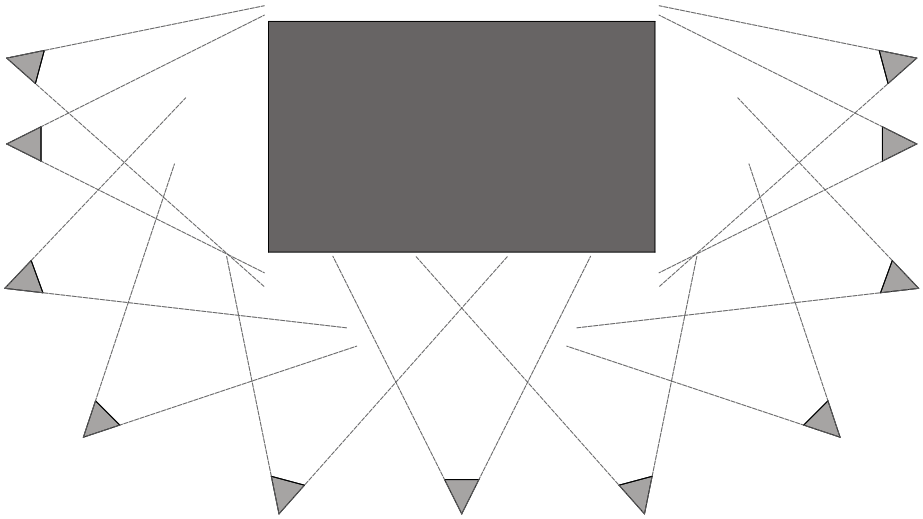


Abb. 34: Reduzierte Aufnahmeanordnung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.2 Kamera

Die Qualität der Aufnahmen ist maßgeblich für die Genauigkeit des 3D-Modelles verantwortlich. Deshalb sollten Kameras verwendet werden, die möglichst scharfe Abbildungen erstellen. Grundsätzlich ist der Prozess der Photogrammetrie jedoch mit jeder handelsüblichen Kamera möglich. [Jerabek 2015]

Sensor

Bei digitalen Kameras erfolgt die Belichtung auf einem Sensor und nicht, wie bei analogen Kameras, auf einem Filmstreifen. Bei digitalen Kamerasystemen kommt es bei Aufnahmen mit wenig Licht zu einem sogenannten Bildrauschen. Das Rauschverhalten eines Sensors ist unter anderem von dessen Größe abhängig. Je größer der Sensor, desto weniger Rauschen tritt auf.
Im folgenden werden die gängigsten Sensorformate von Spiegelreflex-Kameras gelistet.

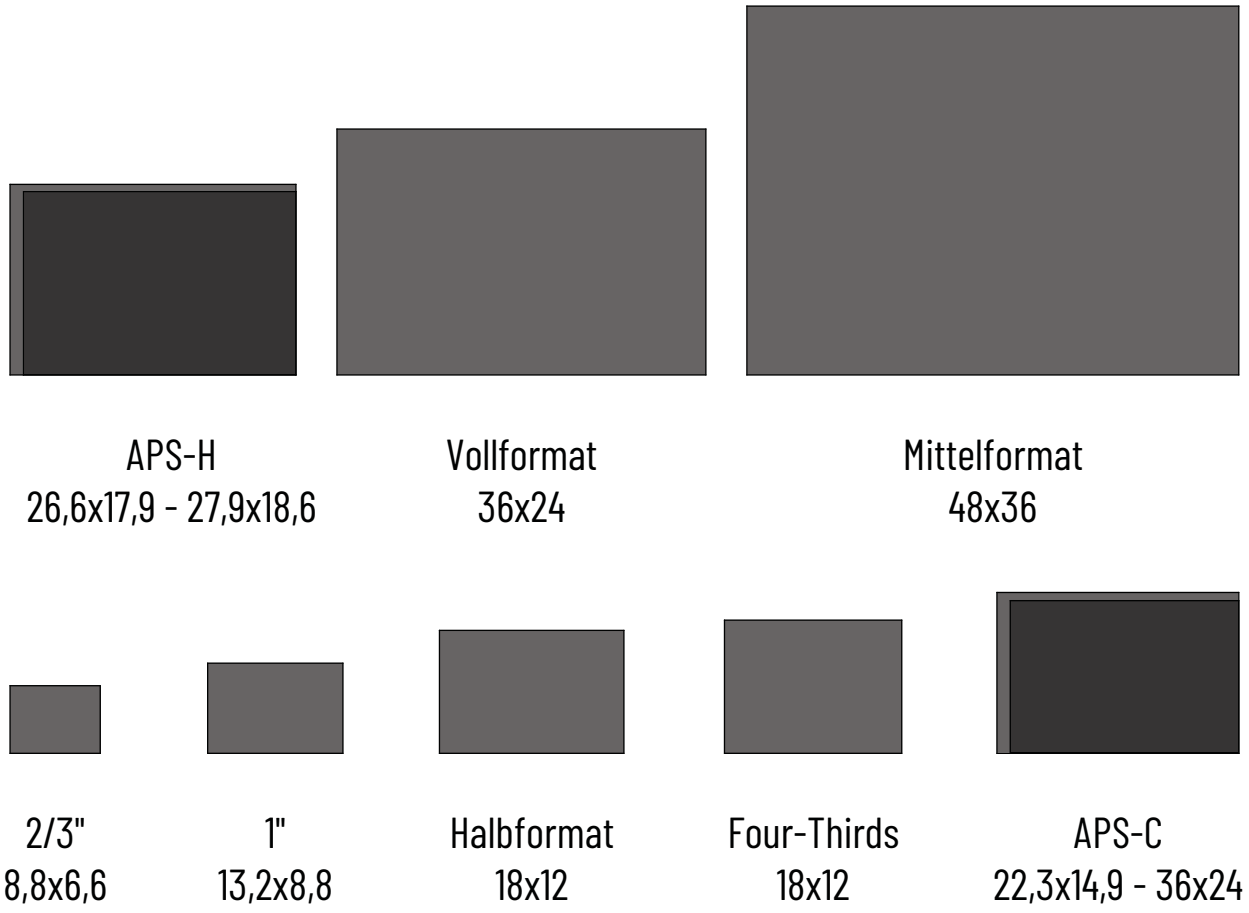


Abb. 35: Sensorformate

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Brennweite

Die Brennweite gibt den Abstand zwischen Bildhauptebene im Objektiv und dem Brennpunkt an, in dem sich alle Strahlen Treffen. Die Brennweite beeinflusst den Bildausschnitt bei gleichbleibendem Standpunkt. Bei einer kleinen Brennweite ist der Bildausschnitt größer als bei einer größeren Brennweite.

Super-Weitwinkel-Objektive	11 bis 24 mm	126 bis 84°
Weitwinkel-Objektive	25 bis 35 mm	82 bis 63°
Normal-Objektive	40 bis 50 mm	57 bis 47°
Porträit-Objektive	85 bis 130 mm	29 bis 19°
Tele-Objektive	140 bis 250 mm	17 bis 10°
Super-Tele-Objektive	260 bis 600 mm und mehr	10 bis 4°

In bestimmten Situationen, wie Innenräumen, wo wenig Abstand zum Motiv besteht, ist ein Weitwinkelobjektiv notwendig. Bei den meisten Weitwinkelobjektiven nimmt die Abbildungsqualität an den Rändern ab. Die verzerrten Bereiche an den Rändern sollten für die Photogrammetrische Berechnung nicht herangezogen werden. Es würden Fehler in der Berechnung entstehen. Diese Tatsache sollte bei der Überlappung der Einzelbilder berücksichtigt werden.
[Luhmann 2018]

Genauigkeit

Die Genauigkeit des Endresultates aus dem photogrammetrischen Prozess ist von vielen Faktoren abhängig. Grundsätzlich kann man über die Distanz und die Kameraspezifikationen eine Abschätzung der Genauigkeit berechnen.

Der Abbildungsmaßstab (m) ist das Verhältnis der Aufnahmeentfernung (h) zur Kamerakonstanten (c).
m= h/c
Die Kamerakonstante entspricht ca. der Brennweite.

Das bedeutet, bei einer Aufnahmeentfernung von 3 m und einem Objektiv mit 28 mm entspricht die Bildmessgenauigkeit 1/107.
1 mm in der Realität entspricht somit 9,3 Mikrometer am Kamerasensor. Angenommen die Fotos wurden mit einer Kamera mit einem Four-Thirds Sensor und einer Auflösung von 4608x3456 Pixel aufgenommen. Ein Pixel nimmt auf diesem Sensor eine Größe von rund 4 Mikrometer ein. Das bedeutet ein Millimeter des realen Objektes werden auf 3 Pixel abgebildet.
Dieser einheitliche Maßstab ist nur bei senkrechten Aufnahmen anwendbar. Bei Schrägaufnahmen oder tiefen Objekten variiert der Maßstab. Diese einfache Rechnung ermöglicht jedoch ein schnelles Berechnen der Aufnahmeentfernung in Abhängigkeit zur gewünschten Genauigkeit.
[Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.3 Kamera Einstellungen

Die Kameraeinstellungen sind stark abhängig von der vorhanden Belichtung. Es sollten jedoch einige Grundregeln beachtet werden.

Blende

Die Blende ist ein Element im Objektiv, welches die Menge an einfallendem Licht auf den Sensor regelt. Des Weiteren wird durch die Blendenöffnung die Tiefenschärfe geregelt.
Die Blendenzahl (k) lässt sich aus Brennweite (f´) und Durchmesser der Eintrittspupille (d`) berechnen.
$k=f'/d'$

Es gibt die sogenannte `Blendenreihe`. Sie besteht aus einer Reihe von Blendenstufen 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22. Bei jeder Blendenstufe wird die Blendenöffnung und dadurch die Lichtmenge, die auf den Sensor trifft, halbiert. [Luhmann 2018]
Die Blendenzahl sollte so gewählt sein, dass die größtmögliche Tiefenschärfe erreicht wird. Bei kleiner Blendenzahl ist die Blende weit geöffnet. Durch die große Öffnung der Blende kommt auch dementsprechend viel Licht auf den Sensor und es ist nur ein geringer Bereich vor und hinter dem Fokuspunkt scharf. Je höher die Blendenzahl, desto kleiner ist die Öffnung der Blende und je länger muss der Sensor belichtet werden. Der scharfe Bereich im Bild dehnt sich bei höherer Blendenzahl jedoch aus.

Ob ein Punkt im Bild, als scharf empfunden wird, ist abhängig vom Durchmesser des Zerstreuungskreises (u`). Bei der digitalen Fotografie bewegt sich der Wert in der Regel im Bereich von 1-3 Pixel.
Beim Einsatz von Normalwinkelobjektiven kann der Zerstreuungskreis wie folgt berechnet werden:
$u'= s'/2000$ s´... Sensordiagonale

Ein Objektiv gilt als Normalwinkel-Objektiv wenn die Brennweite ca. der Sensordiagonale entspricht.
Die Tiefenschärfe ist abhängig von Blendenzahl (k), Aufnahmeabstand (a) und Brennweite (f`).
Bei der Photogrammetrie ist ein durchgehend scharfes Bild mit entscheidend für gute Ergebnisse. Daher sollten alle Parameter so gut wie möglich für die jeweilige Situation optimiert werden.
Um den Tiefenschärfebereich zu optimieren kann die Fokusebene auf die hyperfokale Distanz eingestellt werden. So wird in etwa alles scharf, was sich 1/3 der Fokusdistanz hinter der Fokusebene befindet, bis unendlich.
b...hyperfokale Distanz, f´...Brennweite, u´...Zerstreuungskreis Durchmesser, k...Blendenzahl

$b= f'^2/u' * k$

Bei Objekten mit hoher Tiefe muss darauf geachtet werden, dass der Nahbereich der Tiefenschärfe nicht unterschritten wird, andernfalls tritt ein Schärfeverlauf auf. Wenn nicht anders möglich kann jedoch durch Erhöhung der Blendenzahl oder durch Einsatz von Tilt-Schift-Objektiven entgegengewirkt werden. [Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ISO

Der ISO-Wert ist die Film- bzw. Sensor-Empfindlichkeit. Je höher der ISO-Wert desto empfindlicher ist der Sensor gegenüber Licht. Bei hohen ISO-Werten und oder kleinen Sensoren kommt es eher zu Sensorrauschen. Das Resultat sind fehlerhafte Pixel in den dunklen Stellen im Bild. Diese können Probleme bei den nachfolgenden Arbeitsschritten verursachen und sind zu vermeiden. Daher sollte der geringste ISO-Wert der Kamera angestrebt werden.

Belichtungszeit

Die Belichtungszeit beschreibt die Zeit die der Verschluss des Sensors zur Belichtung offensteht. Je länger die Belichtung, desto schneller wird das Bild durch Bewegung unscharf. Selbst bei Aufnahmen mit Stativ können durch die Auslösung und die Verschluss-Bewegung Verwackelungen entstehen. Man sollte daher eine möglichst kleine Belichtungszeit anstreben. Als Grundregel kann der Kehrwert der verwendeten Brennweite als maximal Wert für die Belichtungszeit angenommen werden. Mit diesem Wert können in der Regel noch scharfe Bilder aus der Hand gemacht werden. Zu beachten ist, dass die Brennweite bezogen auf das Kleinbildformat verwendet wird. Das heißt, im Falle eines anderen Formates muss die Brennweite mit dem Cropfaktor der Kamera multipliziert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Filter

Licht breitet sich in Form von Wellen aus. Jede Welle hat eine bestimmte Richtung in der sie schwingt. Diese Richtung wird durch die Polarisation des Lichtes festgelegt. Eine Lichtquelle ist für gewöhnlich nicht polarisiert, die Ausbreitung der Wellen verteilt sich ungeordnet in alle Richtungen. Beim Auftreffen auf die unterschiedlichen Oberflächen kann sich die Polarisation des Lichtes verändern. Dies ist abhängig von Material, Oberfläche und Einfallwinkel des Lichtes.

Über Polarisationsfilter, auch Polfilter genannt, können die Wellen des Lichtes nach ihrer Richtung gefiltert werden. Ein linearer Polfilter lässt nur Licht mit einer bestimmten Richtung passieren, alle anderen Lichtwellen werden reflektiert oder absorbiert. In der Fotografie wird diese Eigenschaft zur Reduzierung oder Eliminierung von Reflexionen verwendet.

Diese Technik wird zum Beispiele in der Architekturfotografie für das Ablichten von reflektierenden Fassaden verwendet. Auch in der Landschaftsfotografie werden Polfilter eingesetzt. Die Reduktion der Reflexionen bewirkt eine Verstärkung der Farben und Verbesserung der Kontraste.

Jede Oberfläche reflektiert das Licht in einer anderer Form. Einige Materialien polarisieren das Licht bis zu einem bestimmten Grad. Dies ist unter anderem abhängig vom Einfallwinkel des Lichtes bzw. vom Standpunkt der Kamera. Wasser und Glas sind zum Beispiel Materialien, die gerichtetes Licht weiterleiten. Im Gegensatz dazu wird das Licht durch metallischen Oberflächen nicht polarisiert.

Durch einen Polarisationsfilter an der Kamera kann also nur bereits polarisiertes Licht eliminiert werden. In natürlicher Umgebung mit nicht polarisierten Lichtquellen ist ein vollständiges Entfernen von Spiegelungen also nicht möglich.

In der Photogrammetrie sind jedoch Spiegelungen zu vermeiden, andernfalls treten Fehler in der Berechnung des Modells auf. Wenn mit reinem Kunstlicht gearbeitet wird, können die Lichtquellen mit vorgesetzten linearen Polfiltern bestückt werden. Dadurch erhält man vollständig polarisiertes Licht und durch den Polfilter an der Kamera, können sämtliche Reflexionen entfernt werden. Durch den Einsatz von Polfiltern wird jedoch nicht nur die Reflexion verringert, die Filterung bewirkt auch eine Abschwächung des Lichtes. Dadurch trifft auch weniger Licht auf den Kamera-Sensor und das Bild wird dunkler.

Durch den Einsatz von reinen linearen Polfiltern an der Kamera kann es zu Problemen mit der internen Belichtungsmessung der Kamera kommen. Aus diesem Grund wird meist an der Kamera ein zirkularer Polfilter eingesetzt. Dieser filtert das Licht wie ein linearer Polfilter, zirkuliert jedoch zusätzlich die Wellen in Richtung Kamera. Mit dieser Methode werden die Messprobleme behoben.

[Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.4 Licht

Das Licht ist, wie immer in der Fotografie, ein entscheidender Faktor für die Bildqualität. Gute und wirkungsvolle Fotografien leben von Licht-Stimmungen und Kontrasten. Im Fall der Photogrammetrie ist jedoch genau gegenteiliges anzustreben. Ein gleichmäßige Ausleuchtung mit diffusem Licht, wenig Kontrasten und Schatten sind die optimalen Bedingungen. Eine solche Belichtung ist im Außenbereich oft bei bewölkter Wetterlage anzutreffen.
Im Innenraum ist eine gleichmäßige Ausleuchtung meist nur mit dem Einsatz von Kunstlicht zu erreichen. Ein Mischen von verschiedenen Lichtfarben ist möglichst zu vermeiden. Denn wenn zum Beispiel warmes Kunstlicht und Tageslicht gemischt werden, kann es vorkommen, dass die Fotos in den Überlappungsbereichen des Lichtes entweder eine gelbe oder blaue Verfärbung aufweisen.

Blitzlicht

Ob eine ausreichende Belichtung vorhanden ist, hängt von der verwendeten Blende, dem Abstand und der Leistung des Blitzes ab. Mit Blitzgeräten können hohe Lichtleistungen erzielt werden. Normale Blitzgeräte eignen sich für die Photogrammetrie nur bedingt. Das exzentrische Licht des Blitzes verursacht einen starken Schattenwurf und die Aufnahmen werden unbrauchbar für die Photogrammetrie. Wenn bei den Aufnahmen ein Blitz zum Einsatz kommen soll, benötigt es einen Ringblitz. Bei diesem wird das Licht ringförmig um das Objektiv eingebracht. Durch die radiale Lichteinwirkung wird ein möglichst schattenfreies Bild erreicht.

Die Lichtmenge (I) nimmt mit dem Abstand (a) zum Objekt quadratisch ab. Daraus ergibt sich:
$I=1/a^2$

Projektoren

Bei Oberflächen mit kaum Struktur oder Kontrast können zur besseren Erfassung Muster auf diese projiziert werden. Die Projektion kann mit herkömmlichen Beamern erfolgen. Wenn der Kontrast, durch eine hohe Umgebungsbeleuchtung, nicht ausreicht, können Laserprojektionen zum Einsatz kommen. Diese verfügen über eine höhere Lichtleistung und es können Punkt, Linien oder Flächenprojektionen erzeugt werden.
Diese Muster dienen der Photogrammetrie Software als Referenzpunkte und die Geometrie kann berechnet werden. Die Oberflächenfarben werden in diesem Fall jedoch durch die Projektion verfälscht. [Luhmann 2018]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.5 UAV Aufnahmen(unmanned aerial vehicle)

Bei der photogrammetrischen Aufnahme von großen Objekten aus der Hand oder dem Stativ, tritt schnell das Problem der unzureichenden Reichweite auf. Durch verschiedenste Hilfsmittel wie lange Teleskopstangen, an deren Ende die Kamera befestigt ist oder Hebebühnen, können durchaus größere Objekte aufgenommen werden. Diese Methoden sind jedoch sehr zeitintensiv und können nur an gut zugänglichen Bereichen eingesetzt werden.
Der Einsatz von Drohnen in der Photogrammetrie eröffnet neue Möglichkeiten in diesem Bereich. Durch die mittlerweile einfach zu steuernden Drohnen, können auch unzugängliche und sehr hohe Bereiche erreicht werden. Mehrere Drohne-Softwareanbieter haben auch Programme für die automatische Drohen-Steuerung entwickelt.

Die verbreitetste Automatik ist das Abfliegen eines vorgegebenen Bereichs in einer bestimmten Höhe. Über die Definition der Überlappungen zwischen den Fotos und der Flughöhe, wird die Flugbahn und der Abstand zwischen den Fotos berechnet.
Die Drohnenkamera kann bis zu einem gewissen Grad geschwenkt werden. Damit ist es möglich, auch Schrägansichten zu produzieren. Diese Methode ist vor allem für die Aufnahme von Gelände und flachen Gebäuden geeignet. Für die detaillierte Erfassung höherer Gebäude eignet sich diese Methode nicht. Die Fassaden werden aus einem zu steilen Winkel abgebildet.
Bei frei stehenden und hohen Gebäuden eignet sich die Automatik des kreisförmigen Fluges um ein Objekt besser. Es wird ein Mittelpunkt und eine Höhe für die kreisförmige Flugbahn definiert und die Software ermittelt wiederum die Aufnahmestandpunkte.

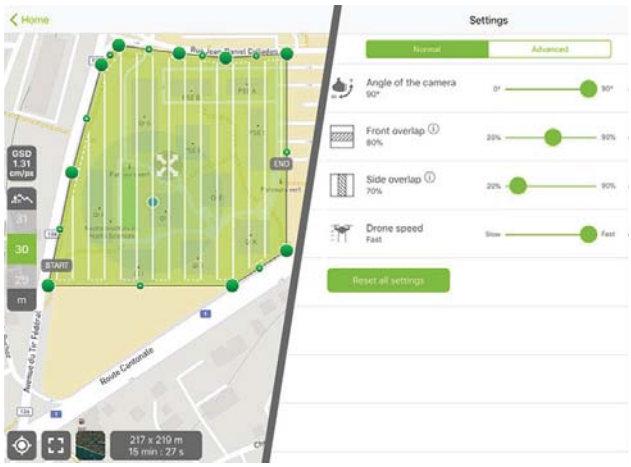


Abb. 36: Polygon Modus, Pix4D

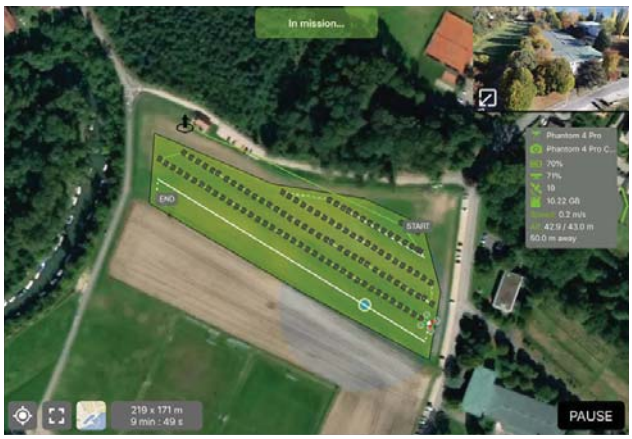


Abb. 37: Automatischer Drohnenflug, Pix4D

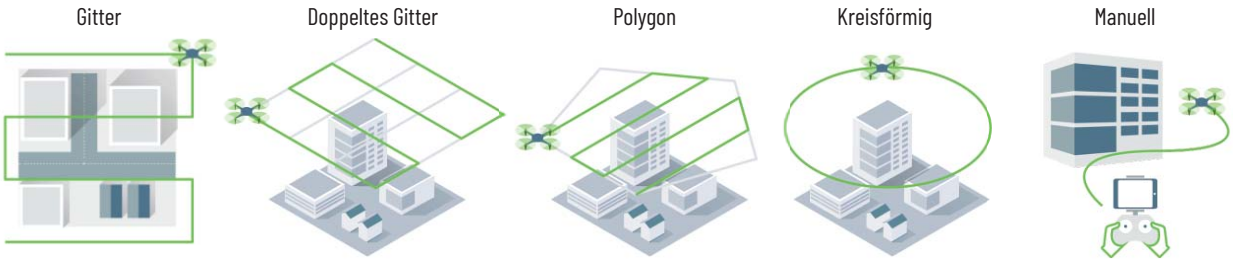


Abb. 38: Standard Modi für den automatischen Drohnenflug, Pix4D

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

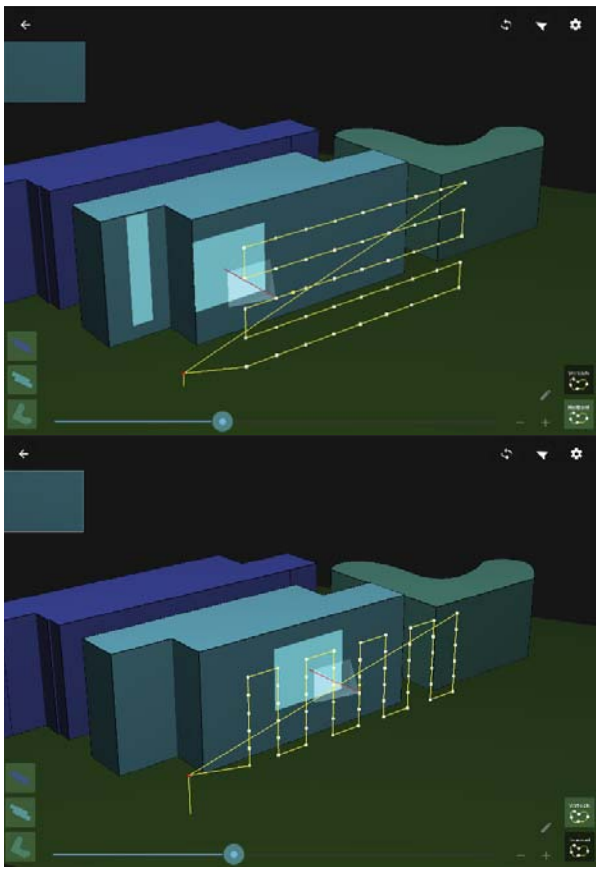


Abb. 39: Flugplanung für Fassade, DrohnHarmony

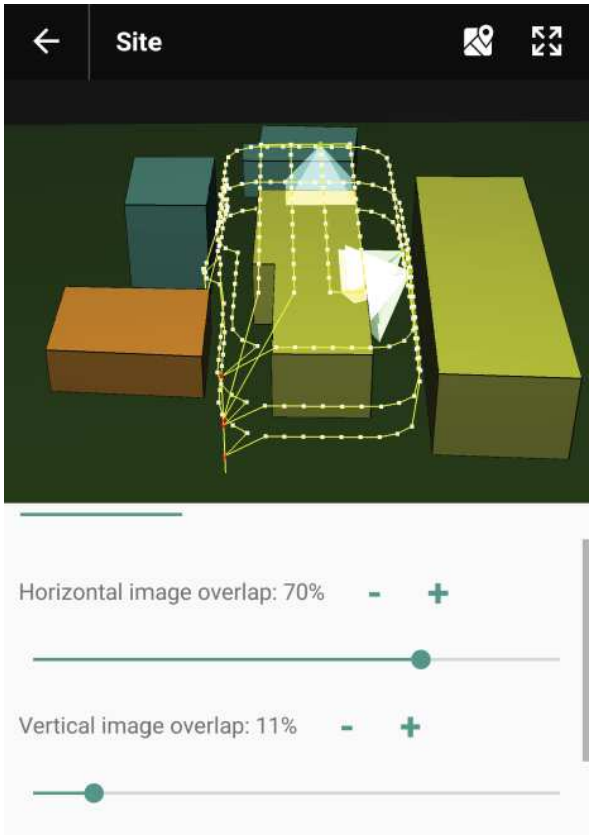


Abb. 40: Flugplanung eines Gebäudes, DrohnHarmony

Die bisher beschriebenen Modi werden über die Eingabe einer zweidimensionalen Ebene in einer bestimmten Höhe definiert. Dies hat zur Folge, dass sich bei Höhensprüngen unterschiedliche Detailstufen ergeben. Daher eignen sich diese Methoden eher für die Ermittlung von Gelände oder von groben Kubaturen.

Für detailliertere Ergebnisse von Dächern und Fassaden braucht es eine Flugplanung in 3D.

Über die Platzierung einfacher Volumenmodelle am exakten Gebäudestandort, können auch Flugbahnen für einzelnen Gebäude erstellt werden. Über diese Methode können Aufnahmen in gleichbleibender Detailstufe vom gesamten Gebäude erstellt werden.

Für einfache frei stehende Gebäude oder einzelne Fassaden ist dies eine gute Möglichkeit zur Aufnahme. Bei komplexen Gebäudestrukturen in Kombination mit Vegetation ist jedoch die Generierung der Kollisionsgeometrie problematisch. Um reale Gebäude stehen meist irgendwelche Hindernisse, wie zum Beispiel Bäume, Stromleitungen usw. All diese Elemente müssten in der Kollisionsgeometrie einbezogen werden. Dies ist in den meisten Fällen zu aufwendig und riskant. Denn zum einen können Abweichungen der Geometrie, vom Volumenmodell zum realen Gebäude zu Kollisionen führen. Zum anderen ist die GPS-Genauigkeit handelsüblicher Drohnen sehr begrenzt.

Somit muss die Drohne bei komplexen Gebäudestrukturen manuell gesteuert werden. Durch Funktionen wie dem Auslösen eines Fotos nach einer gewissen zurückgelegten Distanz helfen bei der systematischen Erstellung der für die Photogrammetrie notwendigen Aufnahmen. Durch das manuelle fliegen kann der Abstand zum Gebäude jedoch nur abgeschätzt werden und somit ergeben sich leichte Schwankungen im Detailgrad.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.6 Foto Nachbearbeitung

In Zeiten der Digitalfotografie ist die Nachbearbeitung von Fotos bereits ein Standardprozess. Oft werden die Fotografien so bearbeitet, dass sie sich enorm von der Ursprungsaufnahme unterscheiden. Bei der Nachbearbeitung von Bildern für die Photogrammetrie ist jedoch Vorsicht geboten. Es sollte bereits bei der Aufnahme darauf geachtet werden, dass so wenig wie möglich nachbearbeitet werden muss. Jede nachträgliche Bearbeitung, kann durch das Verändern der Pixel Struktur, zu Fehlern in der Auswertung führen.

Keinesfalls darf im Bildbearbeitungsprogramm eine Verzerrungskorrektur angewendet werden. Die Bilder können ansonsten nicht mehr korrekt von der Photogrammetrie Software entzerrt werden.

Einige Bearbeitungsschritte können aber auch zur Verbesserung der Ergebnisse beitragen.

Die Fotos weisen meist, auch bei diffuser Lichtstimmung Schatten auf. Um diese zu minimieren, können die Lichter im Bild abgedunkelt und die Schatten aufgehellt werden. Dies bewirkt unter Umständen ein besseres Ergebnis für die Texturen, kann aber wiederum zu Verschlechterung in anderen Abschnitten des Prozesses führen. Bei zu dunklen Bildern kann ein Nachbelichten meist ohne Weiteres im Bildbearbeitungsprogramm durchgeführt werden. Bei zu hohen Werten kann jedoch Bildrauschen entstehen. Alle Adaptierungen sollten mit absoluter Vorsicht vorgenommen werden.

Im Zuge der Nachbearbeitung sollten gleichzeitig unscharfe Bilder aussortiert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.5 Berechnung des Modells

Kamerapositionen

Wenn die Fotos fertig bearbeitet und aussortiert sind, können sie in die Photogrammetrie Software importiert werden. Im nächsten Schritt werden die einzelnen Bilder im Raum verortet. Die Aufnahmepositionen der einzelnen Fotos werden durch einen Algorithmus relativ zum aufgenommenen Objekt berechnet. Über den Algorithmus werden markante Punkte in den Bildern extrahiert. Anschließend werden über diese Punkte die Bilder miteinander verknüpft. Die Berechnungsdauer hängt von der Anzahl der Fotos, der Auflösung der Bilder, der eingestellten Genauigkeit in der Software und der zur Verfügung stehenden Hardware ab. Als Ergebnis erhält man die relative Position und Orientierung der einzelnen Kameraaufnahmen zum Objekt und eine dünne Punktwolke. Diese Punktwolke gibt die grobe Struktur des Objektes wieder. Anhand dieser Darstellung können schon Fehler im Ausrichtungsprozess erkannt werden.

Bei großen Fotomengen von mehreren Hundert oder Tausend, sollten wie im Abschnitt Planung beschrieben, die Bilder in Abschnitte sortiert werden. An den Rändern der einzelnen Abschnitte ist auf eine genügende Überlappung zu dem angrenzenden Abschnitt zu achten. Die einzeln berechneten Teile können anschließend zu einem einzelnen Objekt zusammengefügt werden.

Dieser Berechnungsschritt nimmt im Photogrammetrie Prozess am wenigsten Berechnungszeit in Anspruch. In der unteren Abbildung ist das Ergebnis einer solchen Berechnung sichtbar. Die einzelnen Bildpositionen sind in Rot dargestellt. Anhand der Punktwolke sind bereits die Umrisse der aufgenommenen Statue erkennbar.

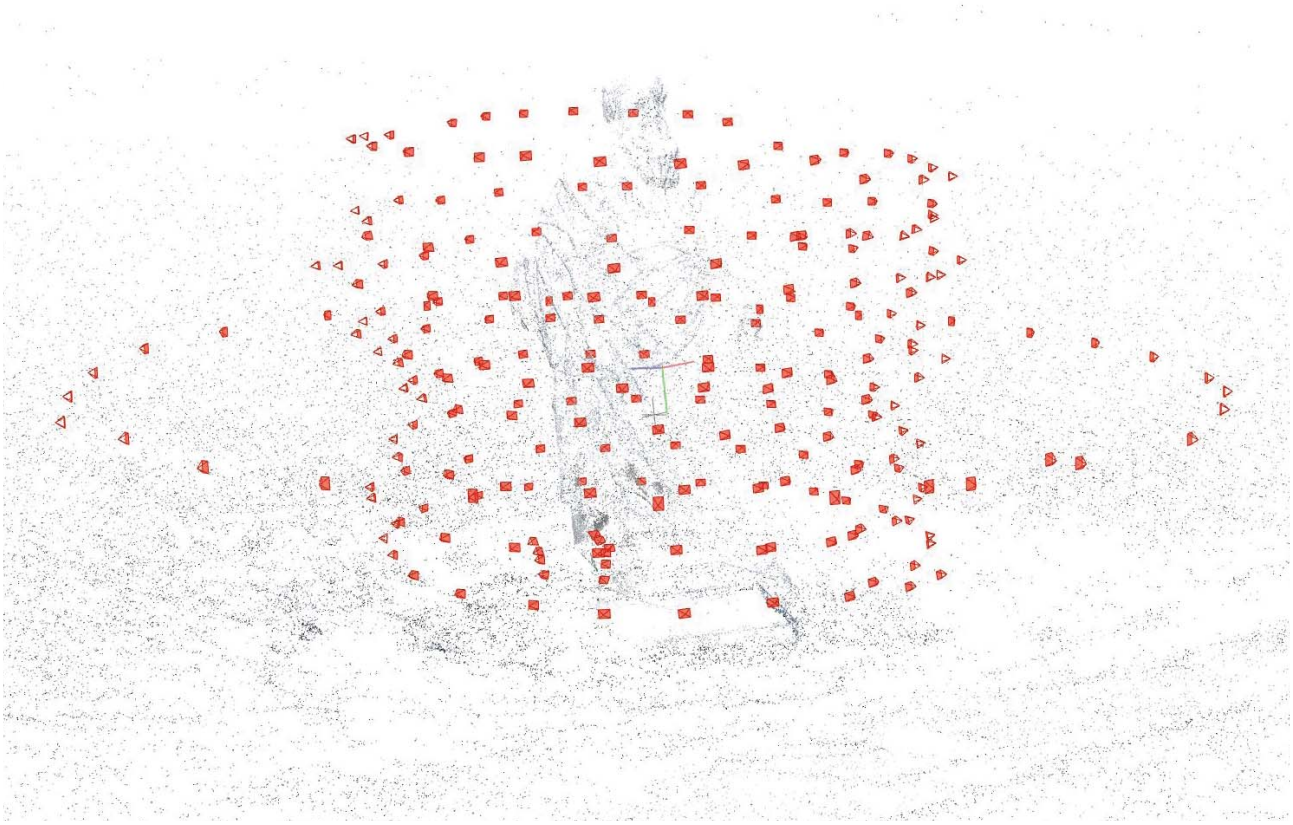


Abb. 41: Kamerapositionen, Statue im Pötzleinsdorfer-Schlosspark

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Dichte Punktwolke

Wenn alle Kameras ausgerichtet und keine Fehler mehr ersichtlich sind, kann der nächste Schritt folgen. Das ist die Erzeugung einer dichten Punktwolke. Diese dichte Punktwolke wird durch den Multi-View-Stereo (MVS) Algorithmus erzeugt. Der Algorithmus arbeitet auf dem Pixel Level und erzeugt so Millionen an Punkten. Ausschlaggebend für die Dichte der Punkte ist die Anzahl der Fotos und deren Auflösung. Es ist jedoch auch hier wieder zu beachten, dass eine hohe Anzahl an Fotos mit hoher Auflösung den Rechenprozess verlängert. Die dichte Punktwolke bildet die vollständige Geometrie des Objektes ab. Bei Betrachtung aus der Ferne reicht die Punktwolke für eine gute Erkennbarkeit der gesamten Struktur. Je näher man dem Objekt im virtuellen Raum kommt, desto größer erscheinen die Abstände zwischen den Punkten. Um eine gute Darstellung auch aus der Nähe zu erreichen, ist es notwendig, aus den Punkten ein Flächennetz zu generieren. Dieser Flächenverband wird allgemein als Polygon-Netz oder Mesh bezeichnet.

In der unteren Abbildung ist die dichte Punktwolke einer Statue aus dem Pötzleinsdorfer Schlosspark abgebildet.

Abb. 42: Dichte Punktwolke, Statue Pötzleinsdorfer-Schlosspark

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Flächennetz/Polygon-Mesh

Nach der Erstellung der dichten Punktwolke kann aus den einzelnen Punkten ein Polygonnetz generiert werden. Ein Polygon besteht, wie unten abgebildet, aus Punkten (vertices), Kanten (edges) und Flächen (faces).

Ein Verband aus solchen Polygonen bildet ein Flächennetz. Die Erstellung eines Flächennetzes aus einer Punktwolke kann zum Beispiel über den Poisson oder Delauney Algorithmus erfolgen.

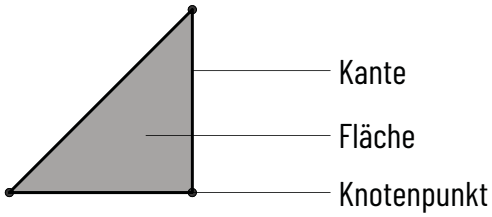


Abb. 43: Polygon

Abb. 44: Mesh in schattierter Darstellung

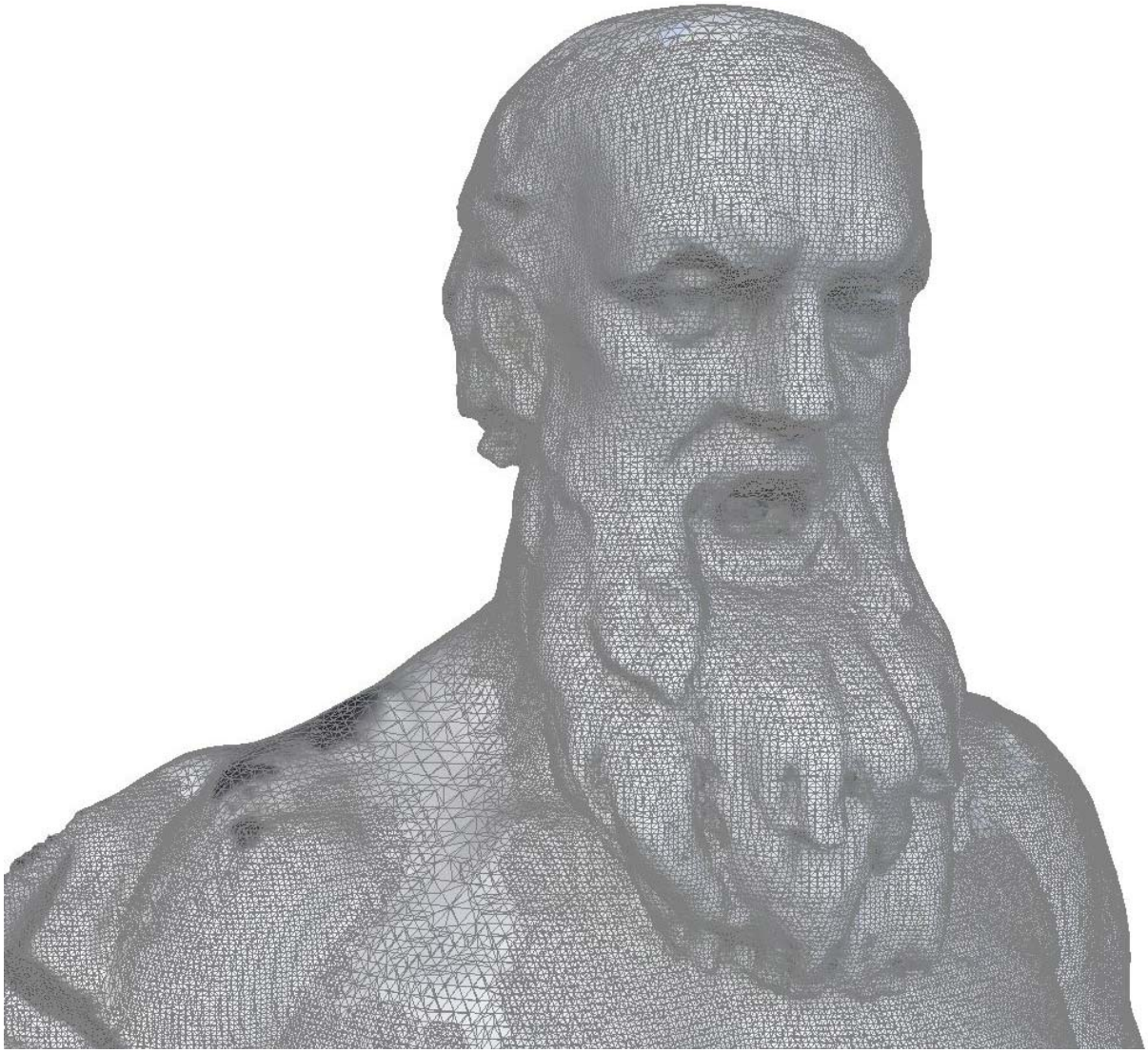


Abb. 45: Flächennetz, Statue Pötzleinsdorfer-Schlosspark

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

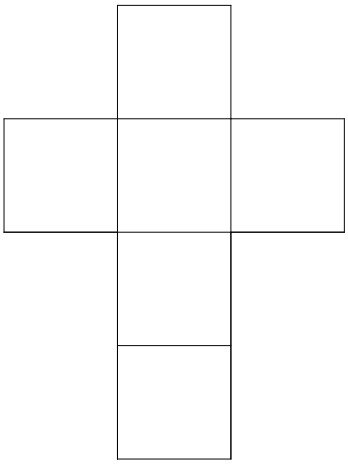


Abb. 46: UV-Map eines Würfels

Farbgebung

Eine Stärke im Prozess der Photogrammetrie ist die Texturierung. Es gibt zwei Möglichkeiten, wie die Farbgebung erfolgen kann. Die erste Möglichkeit ist die Verwendung der Punktfarben. Jedem Punkt des Flächennetzes ist eine Farbe zugeteilt. Diese Farbwerte werden mit ihren Nachbarn interpoliert und ergeben so die Flächenfarbe. Wenn das Flächennetz sehr hoch auflösend ist, kann diese Methode angewendet werden. Bei zu geringer Auflösung des Meshes kommt es zu verschwommen wirkenden Farben, wie in der rechten unteren Abbildung zu sehen.

Die zweite Variante ist das Projizieren der Fotos auf die Oberfläche. Dafür muss zuerst das Netz in die zweidimensionale Ebene abgewickelt werden. Diese Abwicklung wird UV-Map genannt. In der linken Abbildung ist eine solche UV-Map für einen einfachen Würfel dargestellt. Nach der Abwicklung können die einzelnen Bilder auf die Oberfläche projiziert werden.

Mit dieser Variante können auch bei niedriger aufgelösten Meshes, sehr gute und detaillierte Oberflächenfarben erzeugt werden.

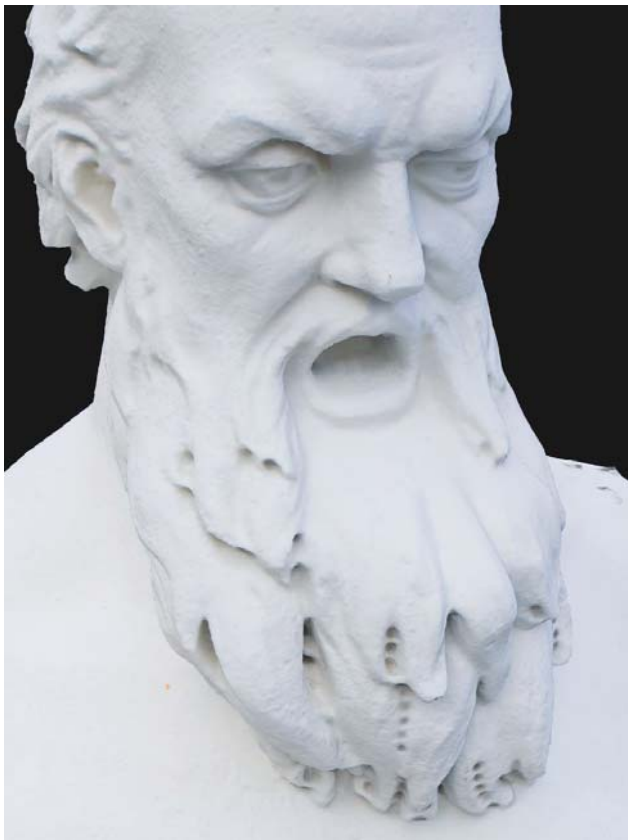


Abb. 47: Mesh mit Textur

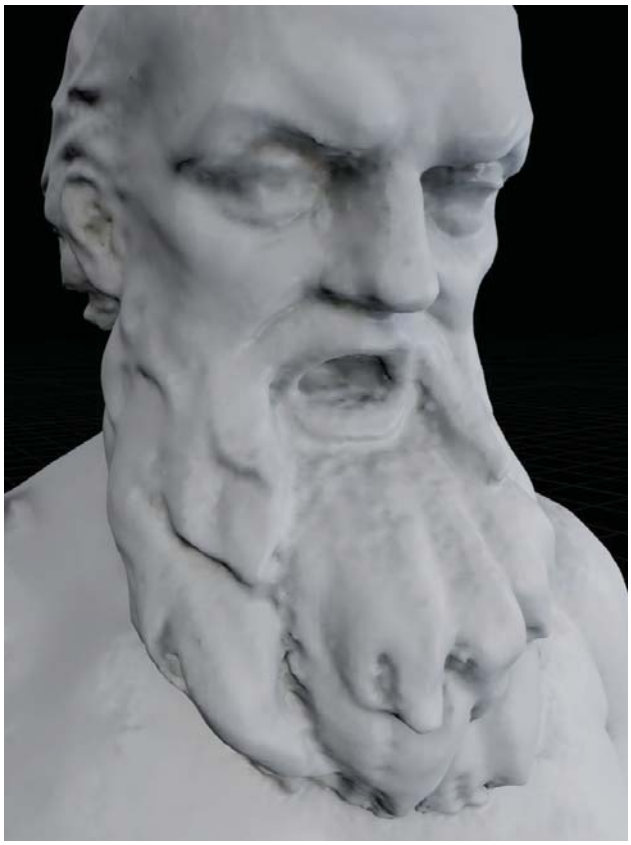


Abb. 48: Mesh mit Punktfarben

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Virtual-Reality

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4. Virtual Reality

Die Wissenschaft rund um Virtuell-, Augmented- und Mixed-Reality (VR/AR/MR) ist noch relativ jung. Die Systeme sind noch nicht sehr verbreitet und für Privatanwender meist noch zu teuer. Von 2012 bis 2019 hat sich die Technologie jedoch stark weiterentwickelt. Die Fortschritte in der Hardwareentwicklung von Prozessoren, Grafikkarten, Sensoren und Displays brachten die Geräte auf ein neues Level. Abseits des Gaming-Sektors halten sich die Softwareangebote jedoch noch in Grenzen. Der Markt soll bis 2020 um das Achtfache im Vergleich zu 2016 wachsen. Dies bedeutet einen Gesamtumsatz von rund 14,5 Milliarden im Bereich VR und rund 12,5 Milliarden im Bereich AR und MR. [SuperData Research Holdings 2018]

Laut der Marktprognose sollte sich also in den nächsten Jahren einiges im Bereich VR weiterentwickeln. Doch was sind eigentlich die Unterschiede von VR zu herkömmlichen Mensch-Computer Schnittstellen? VR-, AR-, MR- Systeme sind aufbauend auf herkömmlichen 3D-Grafiken. Das Entscheidende ist jedoch die Echtzeit-Interaktion mit dem 3D-Raum. Durch verschiedene Tools wie Brillen und Handschuhe, die mit Sensoren ausgestattet sind, werden die Bewegungen und die Blickrichtung verfolgt. Der virtuelle 3D-Raum reagiert auf die eigenen Bewegungen und verändert zum Beispiel die angezeigte Perspektive in der Brille, wenn man seinen Kopf bewegt. Durch die Interaktion mit den virtuell erzeugten Geometrien fühlt man sich tatsächlich an dem simulierten Ort präsent. Obwohl man weiß, dass man sich in einem virtuellen Umfeld bewegt, kann das Gehirn, das nur schwer oder nicht von der Realität unterscheiden. Ereignisse in der Virtuellen- Realität können dadurch starke Emotionen hervorrufen. Zum Beispiel, wenn man im virtuellen-Raum auf der Kante eines Hochhauses steht und in die Tiefe blickt. [Dörner 2013]

Die Emotionen und das Gefühl der tatsächlichen Präsenz in dem virtuellen Raum sind die entscheidenden Faktoren. Durch das Integrieren von VR in die Planung und Präsentation von Architekturprojekten können auch viele Fehler und Missverständnisse vermieden werden. Der Architekt kann zur Überprüfung seines Entwurfes eine virtuelle Begehung machen und so mögliche Problemstellen eruieren. Baubesprechungen können virtuell und ortsunabhängig im zu bauenden Gebäude abgehalten werden. Doch die vermutlich nahe liegendste Anwendung ist die Präsentation für den Auftraggeber. Die Präsentation am 2D-Plan ist für Leihen oft nicht einfach zu verstehen und die einzelnen Renderings zeigen immer nur einen kleinen Ausschnitt des Projektes. So können leicht Missverständnisse zwischen Planer und Bauherren entstehen. Durch die virtuelle Begehung kann der Auftraggeber jede Perspektive des Projektes begutachten und frühzeitig Änderungswünsche äußern. Er kann den Raum nicht nur betrachten, sondern auch Arbeitsabläufe prüfen und die Dimensionen erleben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.1 Geschichte

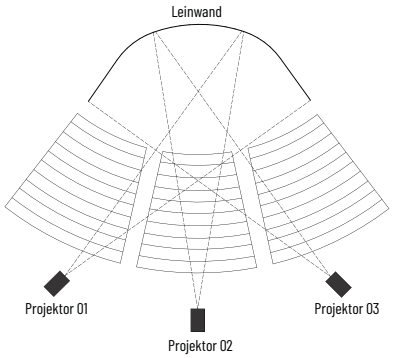


Abb. 49: Cinerama

Die Erfindung des Poraroid-Filters 1932 durch Herbert Land, war der erste Schritt in Richtung 3D-Brille. Diese Filtertechnologie wird bis heute zum Beispiel in 3D-Brillen im Kino eingesetzt.

1952 wurde das Cinerama von der gleichnamigen Firma gegründet. Der Name ist eine Zusammensetzung aus den Wörtern Cinema und Panorama. Das Setup besteht aus drei 35mm Filmkameras mit 27mm Brennweite nebeneinander. Diese erzeugen ein Bildformat von 2.685:1. Das Sichtfeld des Betrachters wurde damit vollständig ausgefüllt und so eine höhere Immersion erreicht.

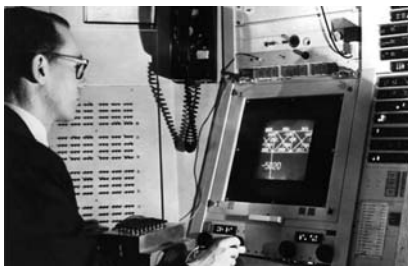


Abb. 50: Sketchpad

1962 entwickelte Morton Heilig den Sensorama. Ein VR-Automat mit verschiedenen Szenarien und Mechaniken. Stereoskopische Bilder, Rüttelplatte, Geruchs und Windsysteme. Dieses war jedoch ein Einzelstück.

1963 entwickelte Ivan Edward Sutherland das Programm „Sketchpad", den Grundstein für die heutige Grafikoberfläche des Desktops.

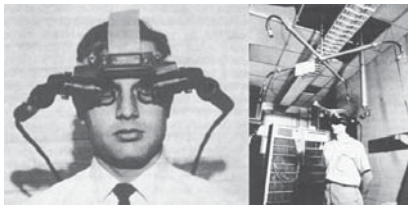


Abb. 51: erstes Head Mounted Display

1968 Ivan Edward Sutherland und Bob Sproul entwickelten zusammen das erste Head Mounted Display. Es war so schwer, dass es an der Decke befestigt werden musste. Erstes virtuell betrachtetes Objekt war ein Drahtgitterwürfel. Durch die schwache Rechenleistung der damaligen Zeit war eine Weiterentwicklung schwierig.
Erst Mitte der Siebzigerjahre wurde wieder in diesem Bereich angeknüpft. Myron Krueger machte mehrere Installationen, wie zum Beispiel den „Video Place". Dieser war ein Raum mit mehreren Bildschirmen in welchem die abgespielten Videos auf den Nutzer reagierten.

Abb. 52: Video Place

1982 wurde Virtual-Reality zum ersten Mal im Roman "The Judas Mandala" von Damien Francis Broderick erwähnt.

Abb. 53: VIVID, NASA

1985 setzte die NASA das „Virtual Environment Display System" (VIVID) in mehreren Projekten ein. Es wurde erforscht wie Roboter von Astronauten in gefährlichen Außeneinsätzen gesteuert werden können. Weitere Projekte der NASA waren die Visualisierung der numerischen Daten über den Mars und die dreidimensionale Betrachtung der Marsoberfläche.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

1992 wurde „Cave Automatic Virtual Environment" (CAVE), von Kunstprofessor Daniel Sandin und den Informatikern Tom DeFanti und Carolina Cruz-Neira, auf der SIGGRAPH vorgestellt. Bei dem Projekt werden alle Flächen des Raumes mit Projektoren bestrahlt. Der Nutzer fühlt sich dabei, als ob er im projezierten Raum stehen würde.

1994 wurde das „Forte VFX1" auf der CES in Las Vegas vorgestellt. Eingebaut waren HMD, Head-Tracking, Kopfhörer und Mikrofon. Zusätzlich ein Eingabegerät mit zwei Achsen Beschleunigungssensor. Im Grunde alles was heutige VR-Systeme beinhalten. Der Preis und die niedrige Auflösung von 320x200 des Systems, trieben die Firma jedoch in den Ruin.

1995 brachte Nintendo den „Virtual Boy" auf den Markt. Er präsentierte sich mit einem monochromen Bild in der Auflösung von 384x224. Andere VR-Systeme der 90er waren: Sega-VR, Jaguar-VR, CyberMaxx, Tiger R-Zone. Keines der Systeme konnte jedoch wirtschaftliche Erfolge erzielen.

1996 wurde der erste 3D-Grafikchip für nicht professionellen Einsatz entwickelt. Der „Voodoo-Graphics" der Firma 3dfx.

2000 entwickelte Microvision das erste HMD (Head Mounted Display) mit 1920x1080 Auflösung für die US-Airforce.

2008 wurden die ersten Omnidirektionalen Laufbänder entwickelt. Sie funktionieren ähnlich wie Laufband im Fitnessstudio, nur in alle Richtungen. Es passt sich der Bewegungsrichtung des Nutzers an und erlaubt dadurch sich ganz natürlich durch die virtuelle Welt zu bewegen.

2009 forschte das Frauenhofer Institut IPMS an einer Datenbrille mit Augen Tracking.

2012 baute John Carmack eine VR-Brille zum Preis von 500 $. Die Performance war mit Profi Geräten vergleichbar. Im gleichen Jahr wurde die Firma Oculus durch Palmyer Luckey gegründet. Carmack und Luckey taten sich zusammen und sammelten Geld über Crowdfunding für die Verbesserung des HMD. Sie bekamen in etwa das zehnfache des erwarteten Geldes. Das erste Developer Kit von Oculus kostete 300 $. 2014 folgte das DK2 für 350 $. Durch den Erfolg von Oculus wird die Entwicklung von VR-Brillen wieder vorangetrieben.

2014 wird Oculus für 2,3 Millarden Dollar von Facebook gekauft. Sony stellt den Prototypen für seine HMD für die PS4 vor. Oculus entwickelt den Prototypen „Crescent Bay", den Vorläufer der heutigen Oculus Rift.

2015 stellen HTC und Valve ihre VR-Brille „HTC ReVive" vor. Diese Brille hat bessere Eigenschaften als die DK2 und zusätzlich zum HMD wird ein VR-Controller und das „Lighthouse", ein System zur Ermittlung der Position des Nutzers im Raum, angeboten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2016 bringt Sony das Playstation-VR für 399 $ auf den Markt. Der Preis liegt deutlich unter den Konkurrenten. Auf der E3 2016 werden erstmals einige Spiele für VR-Headsets vorgestellt.
[VR 02]

2017 auf Grundlage des Windows-Mixed-Reality Systems entwickelten Acer, Asus, Dell, HP, Lenovo und Samsung jeweils eigene VR-Brillen. Die Brillen unterscheiden sich hauptsächlich durch das Design.

2019 erscheinen die Pimax VR-Brillen. Diese Brillen zeichnen sich durch eine höhere Auflösung und ein größeres Sichtfeld aus. Es werden Modelle mit 5K und 8K Auflösung angeboten. Das Sichtfeld beträgt 220 Grad.
Die Entwicklung im Bereich VR, abseits der High-End Geräte tentiert immer mehr zu mobilen Geräten.

Abb. 54: HTC-VIVE

Abb. 55: Oculus-Rift S, Oculus

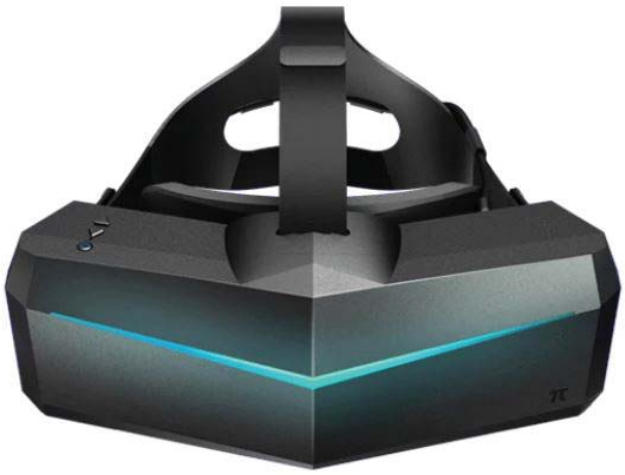


Abb. 56: Pimax 5K XR, Pimax

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Stereoskopisches Sehen

Stereoskopisches Sehen ist die Voraussetzung für dreidimensionale Wahrnehmung und daher auch Virtual-Reality.
Die Augen haben einen gewissen Abstand voneinander. Dieser Distanz bewirkt eine leicht unterschiedliche Sicht der beiden Augen auf ein Objekt. Das Gehirn kann die beiden Bilder in eine drei dimensionale Wahrnehmung umwandeln.
Eine VR-Brille funktioniert genau nach diesem Prinzip. Der Unterschied besteht darin, dass die Objekte und Szenerien die gesehen werden, über zwei Displays vor den Augen ablaufen. Der Prozess im Gehirn ist derselbe.
Durch die geringe Distanz zu den Bildschirmen würde ein scharfes Sehen für das Auge nicht möglich sein. Daher sind in den Brillen Linsen verbaut. Durch diese Linsen kann ein scharfes Bild gesehen werden. [VR 01]

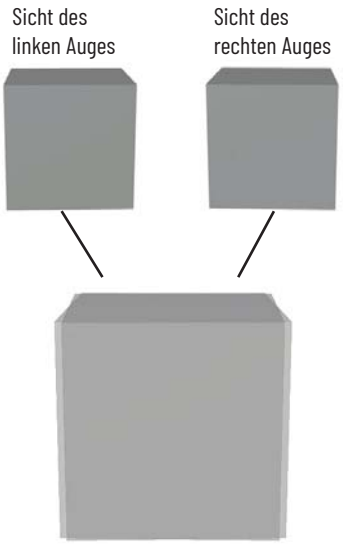


Abb. 57: Stereoskopisches Sehen

Um die dreidimensionale Welt in der Brille darstellen zu können, wird spezielle Software benötigt. Diese Programme müssen die Umgebung mit zumindest fünfundzwanzig Bildern pro Sekunde in Echtzeit rendern. Des Weiteren werden für die meisten VR-Anwendungen bestimmte Funktionalitäten benötigt. Für eine einfache Architekturvisualisierung wird zum Beispiel eine Möglichkeit für die Bewegung durch die Räume des Projekts notwendig. Für komplexere Projekte sind auch andere Funktionalitäten wie Öffnen von Türen, platzieren von Objekten oder interagieren mit Elementen der Applikation notwendig.
Für die Erstellung einer solchen Anwendung bieten sich Game-Engines an.
Ein sehr entscheidender Faktor für die Immersion ist das Erfassen der Bewegungen des Benutzers. Dies kann zum einen über im Raum angebrachte Sensoren passieren. Diese Sensoren nehmen die Bewegungen der Brille wahr und geben sie an die Software weiter. Zum anderen gibt es auch das Inside-Out-Tracking. Bei dieser Methode sind die Sensoren in der Brille verbaut. Diese Sensoren messen die Positionsveränderung der Brille zur Umgebung.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.3 Einsatzgebiete

Virtual-Reality macht es möglich, sich in digitale Welten zu versetzen. Dabei sind der Kreativität kaum Grenzen gesetzt. Gerade deshalb sind auch die Einsatzmöglichkeiten sehr groß. Im folgenden werden nur einige der unzähligen Möglichkeiten aufgeführt.

Medizin

In der Medizin findet VR gleich mehrere Anwendungsbereiche. Zum einen kann es als Trainingswerkzeug für Ärzte verwendet werden. Schwierige Operationen können in der virtuellen Realität geübt und Handgriffe automatisiert werden. Zum anderen kann es als Behandlungsmethode bei Phobien eingesetzt werden. Die Patienten werden, virtuell und ohne Gefahr, ihren größten Ängsten gegenübergestellt.

Abb. 58: VR Phobiebekämpfung,

Ausbildung

Der Mensch lernt am einfachsten und nachhaltigsten über selbst gemachte Erfahrungen. Deshalb eignet sich auch VR besonders gut, um Wissen zu vermitteln. Zum Beispiel im Geschichtsunterricht könnten die Kinder sich in historische Ereignisse zurückversetzen.

Abb. 59: Virtuelle Operation,

Kunst

In der virtuellen Realität können die Naturgesetze außer Kraft gesetzt werden. Dies ermöglicht neue Ansätze in der Kunst. Über die Software `TiltBrush` können zum Beispiel dreidimensionale Zeichnungen in die Luft gemalt werden.

Abb. 60: Google Tilt Brush,

Sport

Sportevents können wie direkt vor Ort miterlebt werden. Nur mit dem Vorteil, dass der eigene Standpunkt blitzschnell verändert werden kann. Sport wird auch in der virtuellen Realität ausgeführt. Es gibt bereits Anwendungen und Spiel für die sportliche Betätigung.

Abb. 61: Sportevents in VR,

Reisen

Eine kostengünstige und schnelle Alternative für eine physische Reise, kann der Ortswechsel per virtueller Realität sein. Innerhalb von Sekunden kann man sich an die verschiedensten Orte der Welt versetzen. Auch Orte, an die der Durchschnittsmensch nicht gelangen kann, können mit VR zumindest virtuell besucht werden. Ein Beispiel ist der Mount Everest oder ein Ausflug in den Weltraum.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Architektur

In der Architektur ist das Erleben und Begehen der Räume im Normalfall erst nach der Fertigstellung des Gebäudes möglich. Durch VR können die geplanten Strukturen bereits vor Baubeginn virtuell begangen werden. Dies kann als Präsentation oder als Planungswerkzeug genutzt werden. [Biocca 2017] In der Architektur gibt es verschiedene Methoden zur Präsentation in VR.

Die erste Methode funktioniert über die Darstellung mit Panoramabildern. Das untere Bild zeigt den Schauraum der Firma Steelcase. Dort befindet sich ein Aufbau mit mehreren aneinander gereihten Bildschirmen. Über die Bildschirme wird eine Panoramaansicht je nach Standpunkt, im virtuellen Raum, ausgegeben. Über einen Joystick ist es möglich sich in der Szene zu bewegen. Steelcase begründet den Einsatz dieses Aufbaus im Vergleich zu dem von VR-Brillen, mit der besseren Kommunikationsmöglichkeit mit den Kunden. [Unreal-Engine]

Eine Variante dazu ist die ausschließliche Darstellung der Panoramaansicht aus ausgewählten Standpunkten.
Die Ansicht erfolgt über eine VR-Brille oder per Bildschirm und Mausschwenk. Es wird nur die Drehung des Kopfes erfasst, andere Bewegungen werden nicht berücksichtigt. Der Wechsel der Ansicht erfolgt über das Klicken auf die angebotenen Standpunkte.

Abb. 62: Steelcase Multidisplay-Setup, Unreal-Engine

Abb. 63: Virtuelle Begehung mit 360° Panoramabildern, Swissinteractive

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei dem VR-System von ARCHICAVE wird die virtuelle Szene über Beamer auf die Oberflächen eines Raumes projiziert. Je mehr Beamer zum Einsatz kommen, desto immersiver ist die Darstellung der virtuellen Umgebung.
Durch eine 3D-Brille werden die projizierten Inhalte als dreidimensional wahrgenommen.
Über die an der Brille angebauten Motion-Track-Markern können die Bewegungen des Benutzers erfasst werden. Dadurch ist es möglich die Projektionen des virtuellen Raumes auf die realen Bewegungen abzustimmen.
Da bei diesem System nur eine einfache 3D-Brille zum Einsatz kommt, ist es möglich den Blickkontakt zu anderen Menschen aufzubauen. [ARCHICAVE]

Abb. 64: Schauraum-Setup, ARCHICAVE

Abb. 65: Virtuelle Begehung im Schauraum, ARCHICAVE

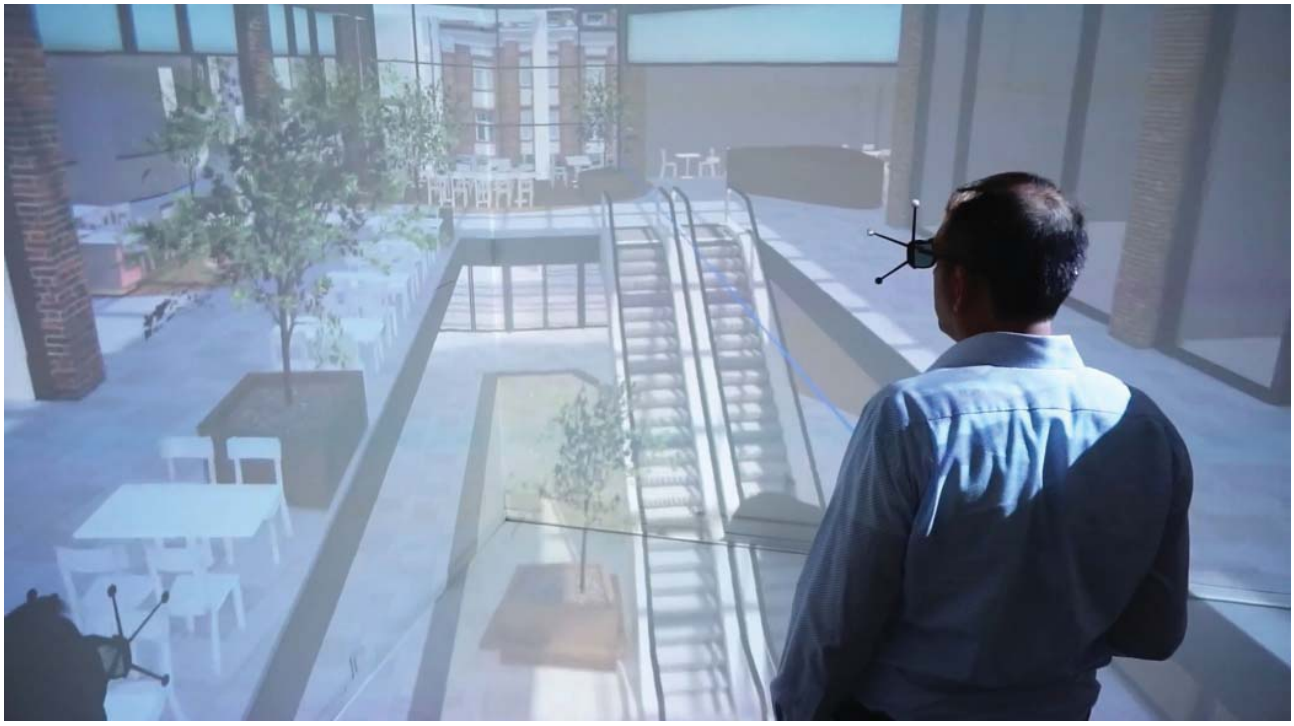


Abb. 66: Virtuelle Begehung im Schauraum 1, ARCHICAVE

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Virtual-Reality wird auch als Medium für den besseren Austausch von Informationen zwischen den Projektbeteiligten eingesetzt. Es können Problemstellen schnell und verständlich begutachtet und über eine Lösung diskutiert werden.

Die Besprechungsteilnehmer müssen sich physisch nicht im gleichen Raum befinden. Die Besprechung kann direkt im virtuellen Raum stattfinden.

Abb. 67: Virtuelle Begehung, Autodesk

Für ein totales Eintauchen in die virtuelle Umgebung werden spezielle VR-Brillen mit Bewegungstracking eingesetzt. Bei dieser Variante werden auch die Bewegungen des Benutzers im realen Raum erfasst und in die Virtuelle-Realität überführt. Der Benutzer kann sich in einem gewissen Bereich physisch bewegen. Größere Distanzen werden mit der Handsteuerung zurückgelegt.

Abb. 69: Virtuelle Meetings, Trezi

Abb. 68: Virtuelle Begehung mit Bewegungstracking, Hoersch & Hennrich Architekten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.4 Die Vorbereitung des Modells für VR

Segmentierung

Das Ergebnis der Photogrammetrie ist ein sehr hoch aufgelöstes Flächennetz. Bei großen Objekten ergeben sich Unmengen an Punkten, Kanten und Flächen. Um mit diesem Modell praktikabel weiter arbeiten zu können, muss seine Geometrie in Teile zerlegt werden. Dieser Vorgang kann, je nach verwendetem Programm, direkt in der Photogrammetrie Software oder in einem externen Programm durchgeführt werden. Je nach Leistung der vorliegenden Hardware in kleinere oder größere Bereiche.

Die Aufteilung in Teile ist in vielerlei Hinsicht wichtig. Als Erstes für die weitere Verarbeitung. Die Teile können einzeln in einer Software für 3D-Modellierung geöffnet und bearbeitet werden. Das zweite Argument für eine Unterteilung ist der Performance gewinn in der Game-Engine. Gerade bei komplexen und großen Gebäuden sind Teile oft nicht sichtbar. Diese Teile können, wenn sie geteilt sind, relativ einfach vom Renderprozess ausgeschlossen werden. Diesen Vorgang nennt man `culling`. Es werden alle im Moment nicht sichtbaren Elemente ausgeblendet.
Auch das Anwenden einer Textur pro Teil macht Sinn. Denn wenn das Objekt nicht sichtbar ist, wird auch die Textur nicht geladen. Bei der Anwendung von Texturen die Teile übergreifend sind, werden oft Texturen geladen bei denen nur wenige Prozent wirklich dargestellt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Bereinigen/Bearbeiten

In der Photogrammetrie gibt es unzählige Faktoren die das Endresultat beeinflussen und dadurch auch eine potenzielle Fehlerquelle darstellen. Daher kommt es unter Umständen zu kleinen Fehlern im Modell. Wenn sich die Fehlstellen in Grenzen halten, sollten diese ausgebessert werden. Ein erneutes Aufnehmen und neu berechnen lohnt sich meist nicht. Der Zeitaufwand wäre zu hoch. Mittlerweile gibt es unzählige Softwarelösungen zur Bearbeitung von Flächennetzen. Einige Open-Source Programme sind im Hinblick auf ihre Funktionalität annähernd gleichwertig gegenüber kommerziellen Anbietern. Über die sculpting Werkzeuge können die verschiedenen Fehler ausgebessert werden. Die wichtigsten Werkzeuge sind:

Glätten (Smooth)

Dieses Werkzeug glättet die Oberfläche des Netzes und eliminiert Unregelmäßigkeiten in dem bearbeiteten Bereich.

Aufblasen / Entleeren (Inflate)

Bei Anwendung werden die Oberflächenpunkte in Richtung der Punkt Normalen verschoben. Das bläst die Oberfläche auf oder zieht sie zusammen.

Füllen / Vertiefen (Fill)

Bei diesem Befehl werden die Tiefpunkte der Oberfläche angehoben oder abgesenkt.

Kratzen (Scrape)

Wie der Name schon sagt, werden die vorstehenden Erhebungen abgekratzt.

Quetschen (Pinch)

Die Punkte werden zum Zentrum des Pinsels gezogen. Somit können Kanten geschärft werden.

Zeichnen (Draw)

Bei diesem Pinsel werden die Punkte nach Außen oder Innen gedrückt. Es können auch Texturen auf die Pinsel angewendet werden. Die Grauwerte beeinflussen die Intensität. Durch die Anwendung einer solchen Textur können ausgebesserte und dadurch absolut glatte Oberflächen, den umliegenden Strukturen angepasst werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

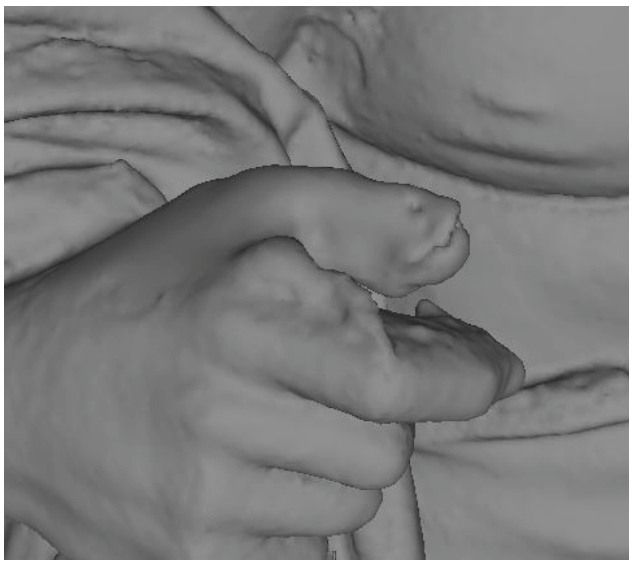


Abb. 70: Geometriefehler

Abb. 71: Abgelöste Geometrie

Abb. 72: Raue Stellen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Reduktion der Polygone

Im nächsten Schritt wird die hoch aufgelöste Geometrie in seiner Polygonanzahl reduziert. Dieser Prozess kann über verschiedene Algorithmen passieren. Die Reduktion ist für eine Weiterbearbeitung des Flächennetzes notwendig. Eine zu hohe Polygonanzahl wäre im Verarbeitungsprozess zu rechenintensiv. Auch für den späteren Echtzeit-Renderprozess werden möglichst niedrige Polygonzahlen benötigt.

Durch die Vereinfachung der Modelle werden jedoch auch die Details reduziert. Bei naher Betrachtung der Modelle sollten viele Details vorhanden sein. In der Entfernung sind diese Details aber gar nicht mehr sichtbar und kosten nur Rechenleistung. Um diese Problematik zu lösen, kommen die sogenannten `Level of Detail` zum Einsatz.

Level of Detail (LOD)

Wie der Name schon sagt, sind LOD's Modelle mit unterschiedlichen Detailgraden. Die einzelnen Abstufungen werden nach ihrem Reduktionsgrad benannt. Das originale, nicht reduzierte Modell, hat die Bezeichnung LOD_0. Der erste Reduzierungsgrad LOD_1 und so weiter. Jeder Abstufung ist eine gewisse Distanz zum Betrachter zugewiesen. Bei sehr geringem Abstand zum Modell wird LOD_0 angezeigt. Wenn der Abstand zum Objekt vergrößert und die eingestellte Distanz für LOD_1 überschritten wird, wechselt die Modelldarstellung von LOD_0 zu LOD_1. So können auch große Szenen in guter Qualität dargestellt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

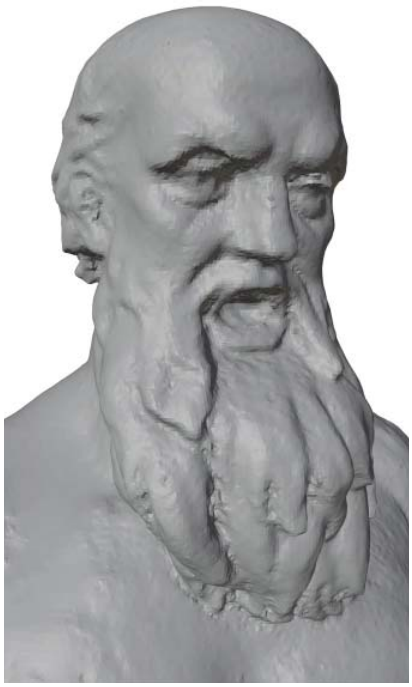


Abb. 73: LOD_0, 6.777.833 Polygone

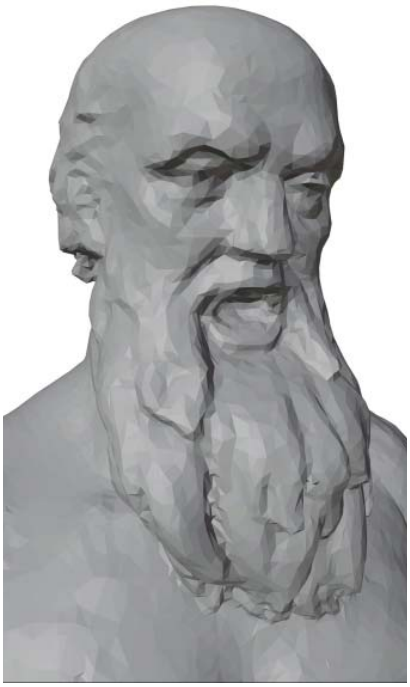


Abb. 74: LOD_1, 847.205 Polygone

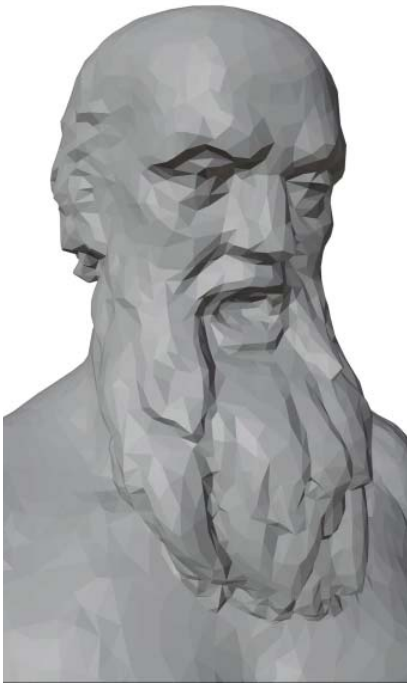


Abb. 75: LOD_2, 423.606 Polygone

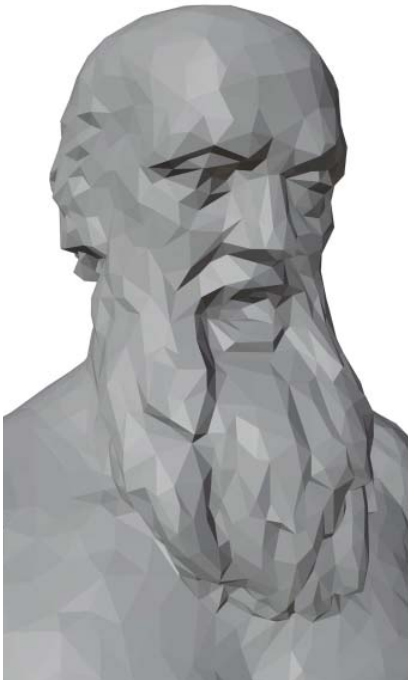


Abb. 76: LOD_3, 211.797 Polygone

Abb. 77: LOD_4, 105.891 Polygone

Abb. 78: LOD_5, 13.677 Polygone

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Physical-Based-Rendering-Materials (PBR-Materials)

Jede Oberfläche beeinflusst das eintreffende Licht in einer bestimmten Form und bekommt dadurch sein spezifisches Aussehen. Bei der Methode der PBR-Materialien werden diese Eigenschaften der Oberflächen physikalisch korrekt wiedergegeben. Der Vorteil liegt vor allem darin, dass das Material in jeder Lichtsituation dem realen Material entspricht. Wenn Licht auf eine Fläche trifft, werden die Strahlen entweder reflektiert, gebrochen oder absorbiert. [Substance 01]

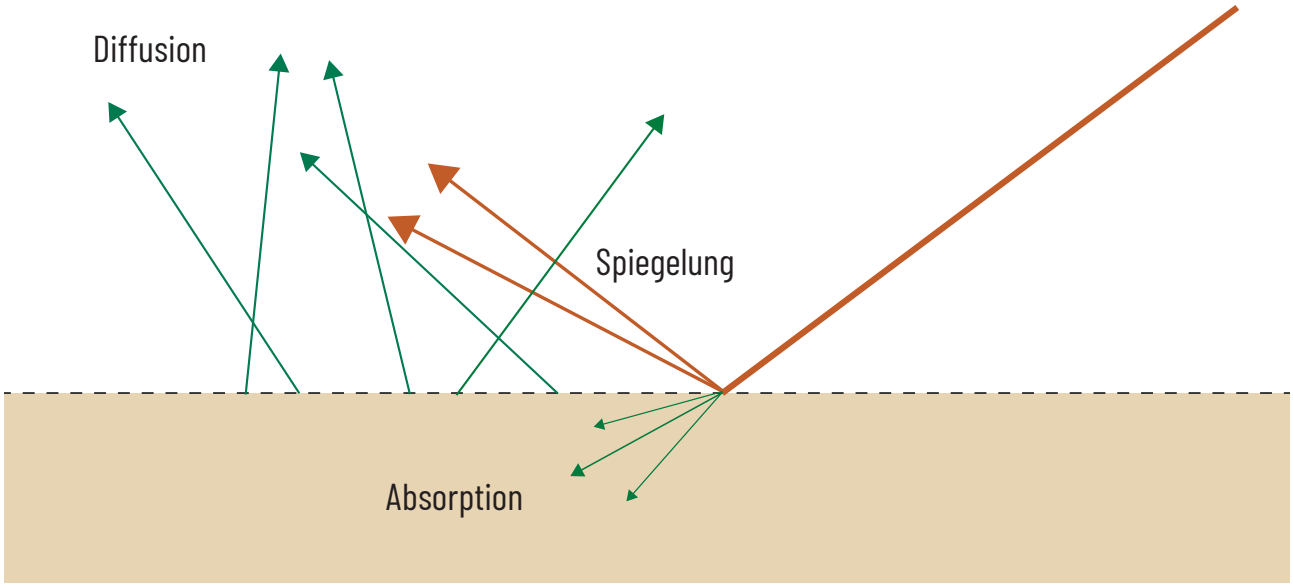


Abb. 79: Materialeigenschaften, nach Substance 01

Absorption/Scattering

Bei der Absorption wird ein Teil der auftretenden Energie in Form von Lichtwellen in eine andere Form, meist Wärmeenergie, umgewandelt. In welcher Farbe ein Objekt erscheint, ist abhängig davon welche Wellenlängen die Oberfläche absorbiert und welche reflektiert werden. Die reflektierten Strahlen werden in der Folge als Farben wahrgenommen. An einigen Objekten streut sich das Licht. Die Strahlen werden in zufällige Richtungen mit gleicher Intensität weitergeleitet. Je öfter sich das Licht streut, desto mehr wird auch absorbiert. Dieser Effekt tritt zum Beispiel bei Blättern oder Haut auf, die Oberfläche ist leicht durchscheinend. [Substance 01]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

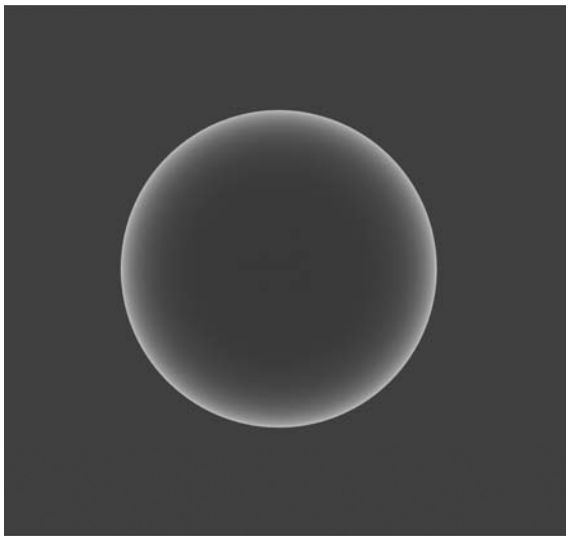


Abb. 80: Fresnel-Effekt

Fresnel Effekt

Der französische Physiker Augustin-Jean Fresnel stellte fest, dass sich die Stärke der Reflexion auf einer Oberfläche, mit dem Betrachtungswinkel verändert. Ein einfaches Beispiel ist die Oberfläche eines klaren Bergsees. Bei Betrachtung der Wasseroberfläche direkt von oben also Normal dazu, kann man bis zum Grund des Sees sehen. Je steiler der Betrachtungswinkel zur Oberfläche ist, desto stärker spiegelt die Oberfläche die Umgebung. [Substance 01]

Diffuse und Spiegelnde Reflexion

Eine perfekt glatte Oberfläche reflektiert die Lichtstrahlen genau im gleichen Winkel, in dem es aufgetroffen ist. Bei fast allen Oberflächen tritt jedoch eine Streuung des Lichtes auf. Diese Streuung wird durch mikroskopisch kleine Unebenheiten bzw. der Rauheit des Materials ausgelöst. Je rauer die Oberfläche, desto weicher werden die Reflexionen. [Substance 01]

Abb. 81: Metalloberfläche, 0 Roughness

Abb. 82: Metalloberfläche, 0,3 Roughness

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Generell werden PBR-Materialien über mehrere Kanäle bestimmt. Diese werden in Form von Texturen dem Shader übergeben. Im folgenden werden die einzelnen Kanäle beschrieben.

Texturen

Es gibt grundlegend zwei Arten von Texturen. Zum einen die `kachelbaren Texturen`. Mit dieser Technik können Texturen aneinandergereiht und auf eine Objektfläche angewendet werden, ohne dass ein Übergang sichtbar ist. Diese Art von Texturen kommen in der Visualisierung von Materialien meistens zum Einsatz.

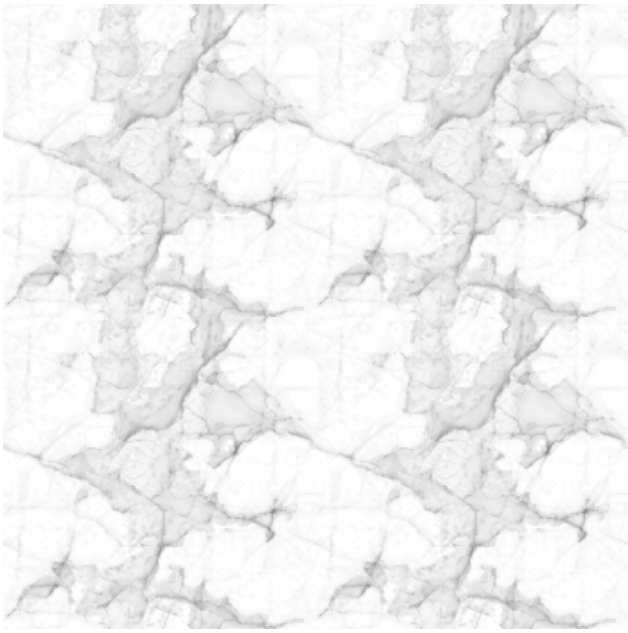


Abb. 83: Kachelbare Textur 2x2, Volcanic Rock von textures.com

Zum anderen gibt es die `einzigartigen Texturen`. In der nebenstehenden Abbildung ist eine einzigartige Diffuse-Textur dargestellt. Diese Textur ist auf die UV-Map eines ganz bestimmten Flächennetzes abgestimmt.
Diese Form an Texturen wird im Photogrammetrie-Prozess erzeugt.

Abb. 84: Einzigartige Textur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Diffuse- und Albedo-Map:

Die Diffuse-Map enthält alle Informationen, die ein normales Foto von einer Oberfläche auch enthalten würde. Also Farbe, Licht, Schatten, Reflexion und so weiter. Diese Textur verwendet man, um dem Material Farbe zu geben. Objekte mit einer Diffuse-Map erscheinen in 3D-Szenen mit virtuellen Lichtquellen oft nicht sehr realistisch. Vor allem wenn die dunklen, in der Textur beschatteten, Seiten von einer Lichtquelle beleuchtet werden, aber trotzdem dunkel erscheinen. Eine andere und oft bessere Methode ist über eine sogenannte Albedo-Map. Bei dieser Form der Textur sind die Lichter und Schatten aus dem Bild entfernt. Dadurch erscheinen die Farben flacher. Durch den geringeren Kontrast wirkt die gesamte Textur einheitlicher, es gibt keine dunklen, Schattenseiten mehr. Zur Verwendung in einer 3D-Szene mit gesetzten Lichtquellen eignet sich diese Methode sehr gut. Das Objekt erhält die Licht- und Schatten-Werte nur aus der virtuellen Umgebung. Die gesamte Szene wirkt dadurch realistischer.

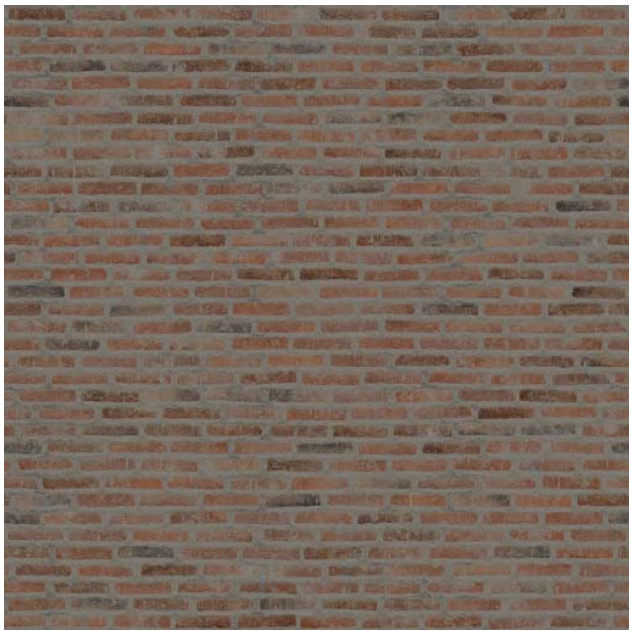


Abb. 85: Albedo-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com

Metalic-Map

Diese Textur gibt an welche Teile des Objektes eine metallische Oberfläche besitzen. Für gewöhnlich ist der Wert binär 1 (weiß) oder 0 (schwarz). Es treten nur Grauwerte auf wenn auf einer metallischen Oberfläche zum Beispiel dünne Schichten von Schmutz oder Korrosion auftreten.
Metall wird mit Weiß dargestellt.

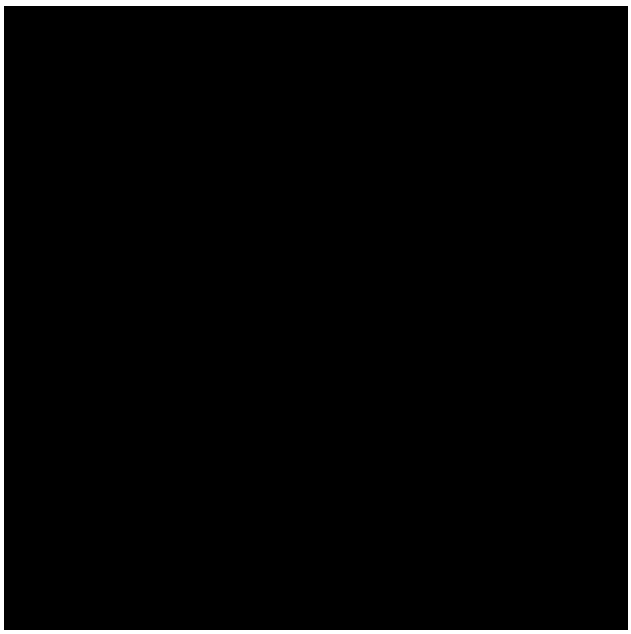


Abb. 86: Metal-Textur, rein Schwarz für nicht metallisch

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Ambient-Okklusion-Map (AO)

Diese Textur beinhaltet Schatteninformation. Sie kann zur Verstärkung der Schattenkontraste und zum Schärfen der kleinen Details verwendet werden.

Abb. 87: AO-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com

Roughness-Map

Diese Textur kontrolliert die Schärfe der Reflexion. Also wie rau und wie stark die Streuung des Lichtes auf der Oberfläche ist. Schwarz (0) stellt eine glatte Oberfläche dar.

Die invertierte Form dieser Textur wird als Glossines-Map bezeichnet.

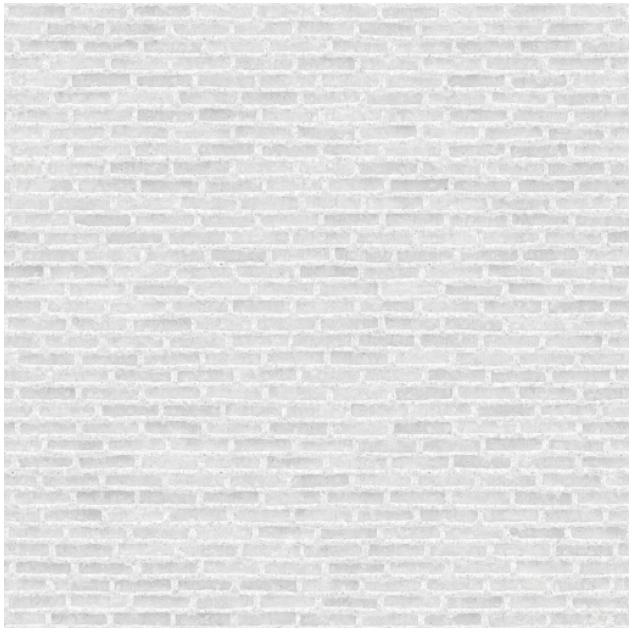


Abb. 88: Roughness-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Normal-Map

Normal-Maps können die Höheninformation eines hochauflösenden Meshes auf ein Modell mit niedrigerer Auflösung übertragen.
Diese Textur erscheint in einer rosa, blauen Farbe. Jeder Farbton beschreibt eine Achsen-Richtung. Durch diese Textur kann man eine glatte Mesh Oberfläche so wirken lassen, als hätte sie eine Struktur. Dieser Effekt funktioniert bei kleinen bis mittelgroßen Oberflächen-Strukturen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass es nur eine Illusion ist und die Geometrie nicht verändert wird. Deshalb ist diese Methode nicht für Bereiche oder Elemente geeignet an die man nah herankommt und sich herumbewegen kann.

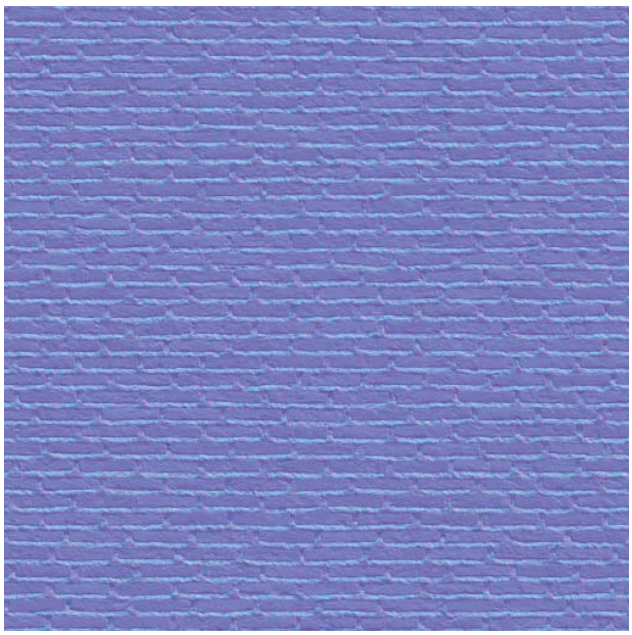


Abb. 89: Normal-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com

Displacement-Map

Die Displacement-Map ist eine Graustufen Textur. Diese Textur verändert im Gegensatz zur Normal-Map die Topologie der Polygone. Schwarz bedeutet keine Verschiebung. Weiß hat die volle Verschiebung zur Folge. Durch die tatsächliche Deformation wird auch ein dementsprechend dichtes Mesh benötigt.

Abb. 90: Displacement-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.5 VR Entwicklungsumgebung

Echtzeit-Renderer

Um die erzeugten Modelle auch in Virtual-Reality darstellen zu können bedarf es einer dafür ausgelegten Entwicklungsumgebung. Für die Echtzeit-Visualisierung im Bereich der Architektur werden bereits verschiedene Softwarelösungen angeboten. Beispiele dafür sind Lumion und Twinnmotion. Diese Programme verfügen über eine einfache Benutzeroberfläche und überschaubare Funktionalitäten. Die 3D-Modelle aus dem Entwurf können einfach importiert und anschließend mit Materialien belegt werden.

Für die Ausgestaltung der Räume stehen Bibliotheken zur Verfügung. Es sind Bibliotheken für Objekte und Materialien integriert. Diese Bibliotheken können beliebig mit eigenen Objekten ergänzt werden.

Um die Außenbereiche realistischer erscheinen zu lassen, besteht die Möglichkeit zur Platzierung von verschiedenen Pflanzen und Gräser. Durch ein eingebautes Wettersystem kann die Wirkung des Gebäudes bei unterschiedlichen Wetterlagen und Uhrzeiten begutachtet werden.

Um den vorhandenen Kontext des Gebäudes in die Visualisierung mit einzubeziehen, können die Daten aus der Open-Street-Map in die Szene integriert werden.

Nach der Erstellung der Szene kann die Ausgabe als einfaches Bild, Video oder als 360° Panoramas erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist der Export als virtuelle Begehung. Dies ermöglicht ein freies Bewegen durch die Szene. Diese Begehung kann am Bildschirm oder per VR-Brille durchgeführt werden.

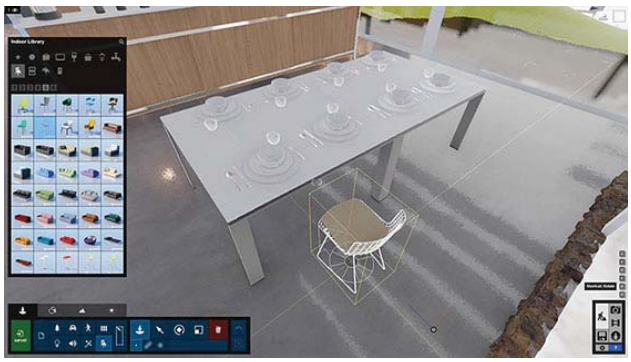


Abb. 91: Lumion Oberfläche, Lumion

Abb. 92: Twinnmotion Oberfläche

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Game-Engines

Game-Engines bilden eine Oberfläche zur Entwicklung von Spielen und Applikationen. Mit Game-Engines wie Unity und Unreal-Engine 4 sind die selben Ergebnisse möglich wie mit Echtzeit-Renderprogrammen. Jedoch beinhalten Game-Engines eine größere Vielfalt an Möglichkeiten. Der wichtigste Unterschied besteht in der Möglichkeit für das Projekt maßgeschneiderte Applikationen zu entwickeln.

Eine Game-Engine ist aufgebaut aus verschiedenen Elementen. Das für die Architekturvisualisierung wichtigste Teilelement ist das Grafik-System. Es ist für die grafische Darstellung der Inhalte zuständig. Mittlerweile sind die Engines so weit entwickelt, dass fotorealistische Darstellungen in Echtzeit möglich sind.

Ein weiteres Element ist das Physik-System. Es ermöglicht ein schnelles Erstellen von physikalisch korrekten Simulationen. Dadurch können zum Beispiele Gravitation und Kollision auf Objekte in der Szene angewendet werden.

Um sich in der Szene fortzubewegen ist auch ein System für die Anpassung der Steuerung integriert.

Des Weiteren sind Systeme für die Erstellung einer Benutzeroberfläche, Audio, Netzwerk usw. vorhanden.[unity3d]

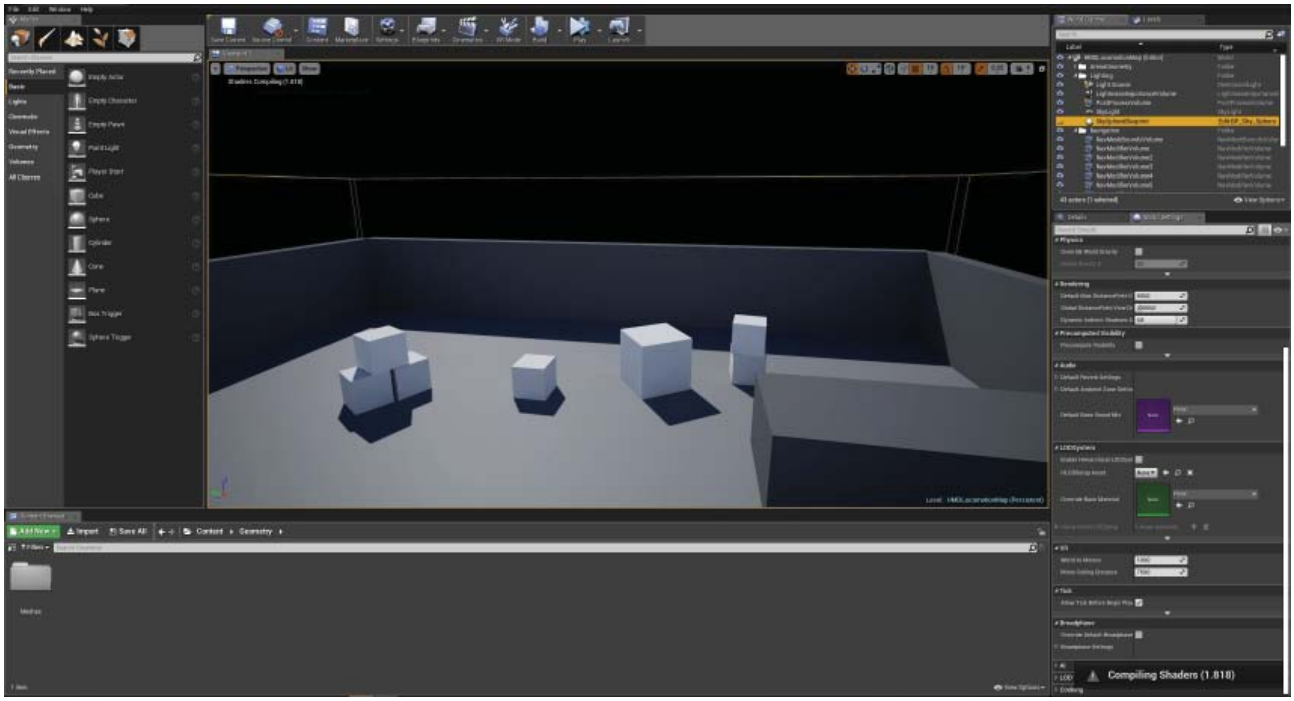


Abb. 93: Unreal-Engine 4 Editor

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Durch diese Entwickleroberfläche wird das Erstellen eines Szenarios sehr vereinfacht. Die Basis einer Szene bilden dreidimensionale Elemente, die in einem externen 3D-Modellierprogramm erstellt und in die Game-Engine importiert werden. Diese Elemente können anschließend in der Szenerie platziert, mit Material belegt und gegebenenfalls animiert werden.
Durch die Einführung des Datasmith-Importers für die Unreal-Engine, können Eigenschaften wie zum Beispiel Materialien des Modells direkt in das Asset-Format der Unreal-Engine konvertiert werden. Davor mussten die Materialien neu erstellt und Texturen zugewiesen werden.

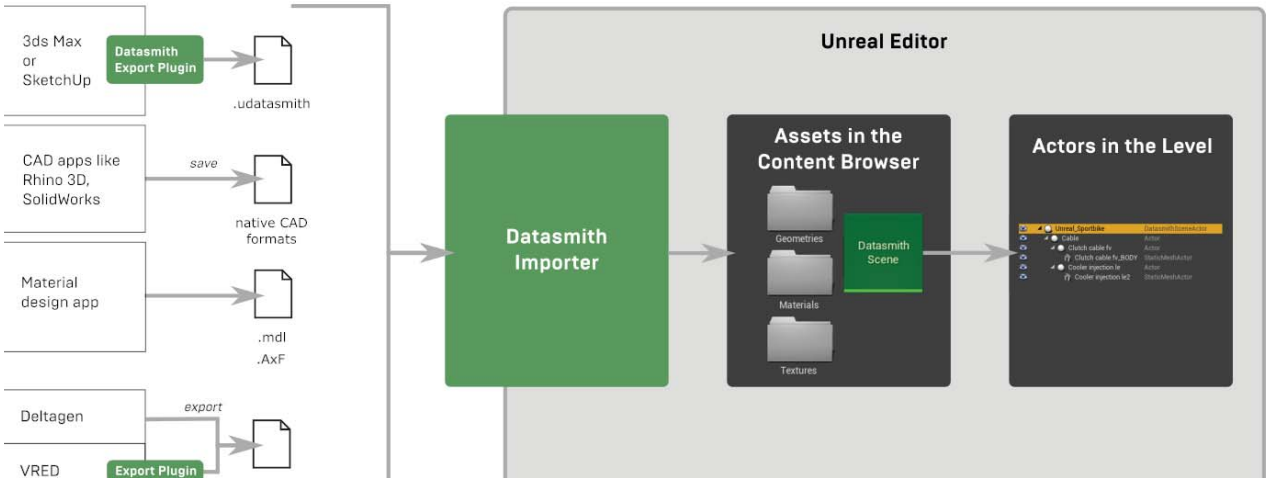


Abb. 94: Datasmith Importer, Unreal-Engine 4,

Für die Erstellung einer Applikation mit einer Game-Engine benötigt man kaum noch Programmierkenntnisse, die Idee rückt in den Vordergrund.
Die meisten Funktionen können über Visual-Scripting erstellt werden. Dieses System nennt sich in der Unreal-Engine ``Blueprints``.

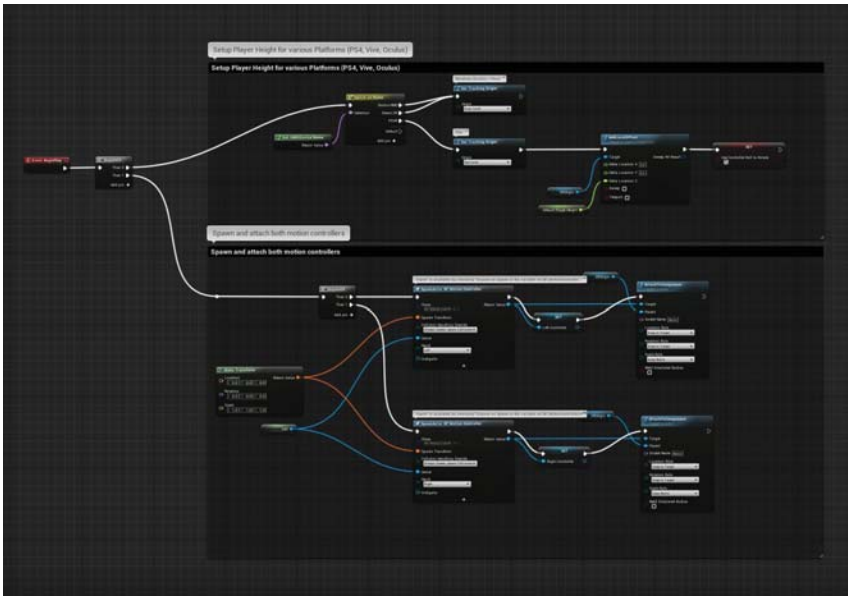


Abb. 95: Blueprint, Unreal-Engine 4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Unreal-Engine bietet einige Vorlagen an. Diese Vorlagen beinhalten grundlegende Funktionalitäten und Objekte. In der Virtual-Reality Vorlage ist die Initialisierung des VR-Equipment implementiert. Weitere Funktionen sind die Bewegung über Teleportieren und das Greifen von virtuellen Gegenständen. Über diese Beispiele können einfach neue Funktionen ergänzt oder adaptiert werden.

Abb. 96: Templates, Unreal-Engine 4

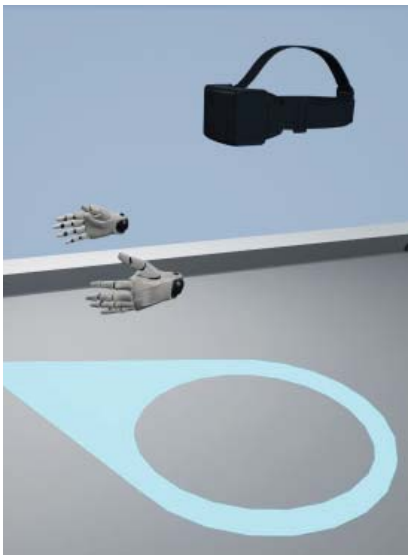


Abb. 97: VR-Template, Unreal-Engine 4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

VR-Eventplanung am Beispiel Schloss Waldenfels

5. VR-Eventplanung am Beispiel Schloss Waldenfels

5.1 Schloss Waldenfels

Das Schloss befindet sich in Oberösterreich nahe der tschechischen Grenze, nördlich von Linz. Genauer im Mühlviertel in der Gemeinde Reichenthal im Ortsgebiet Hayrl. Gut in die hügelige Landschaft eingegliedert, steht das Schloss auf einer Felserhebung.
Der heutige Besitzer Dominik Grundemann-Falkenberg hat das Schloss 2001 übernommen. Damals war nicht sehr viel über die Geschichte des Schlosses bekannt. Vor der Sanierung wurde auf Initiative des Eigentümers, eine umfangreiche, geschichtliche Aufarbeitung des Schlosses durchgeführt. In Abstimmung mit den gewonnenen Erkenntnissen aus den verschiedenen Fachbereichen wurde das Schloss stimmig revitalisiert. Die heutige Grundform des Schlosses ist ein Fünfeck. Der Bau gliedert sich in mehrere Bereiche. Im Zentrum der Anlage befindet sich ein hoher Felsblock. Heute ist dieser unbebaut, nur noch Reste vom Fundament, des dort einst stehenden Turmes, sind vorhanden. Im östlichen Teil des Schlosses befindet sich der Wohntrakt, wo auch der Schlossherr wohnt. Im Norden ist der Wirtschaftstrakt und im Süd-Westen eine Gartenterrasse mit angebundener Sala terrena. [Schicht 2005]

Abb. 98: Lage in Österreich

Abb. 99: Lageplan

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 100: Waldenfels Luftbild

Abb. 101: Waldenfels, Markus Hauser

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Einige Räumlichkeiten und der Innenhof können für Veranstaltungen angemietet werden. Es werden Feste verschiedener Vereine dort gefeiert, Konzerte und Seminare abgehalten. Im Tal, unterhalb der Anlage, befindet sich der Schlossteich und die Herrenmühle. Im Winter wird auf dem gefrorenen Teich Eisstocksport betrieben. Ein kleines Stück in Richtung Osten liegt ein weiterer Teich und die Überreste einer Scheune, die ebenfalls zum Schloss gehören. Hinter der Scheunenruine ist das Vereinshaus des örtliche Bogensportvereins angesiedelt. Im Schloss Waldenfels werden auf Anfrage auch Führungen vom Schlossherrn persönlich angeboten.

5.1.1 Die Entstehung

Bis ins hohe Mittelalter war in der Gegend um das heutige Reichenthal nur kaum erschlossenes Waldgebiet. Die Besiedelung und Erschließung der Region wurde im 12. Jahrhundert hauptsächlich vom bayrischen Adel vorangetrieben. Anfang des 13. Jahrhunderts wurde durch die Babenberger, unter anderen, Ortschaften wie Freistadt und Neumarkt gegründet. König Ottokar II trat 1251 das Erbe der Babenberger an und trieb den Ausbau weiter voran. Die böhmischen Rosenberger gründeten 1259 den Zisterzienserstift Hohenfurt und expandierten Richtung Süden. Die Schaunberger kamen von Westen immer weiter Richtung Waldenfels. Die Besiedelung im 13. Jahrhundert schritt bis etwa Waldenburg voran. Waldenburg liegt 6km südöstlich von Waldenfels. Ende des 13. Jahrhunderts fand eine Machtübernahme der Habsburger in der Region statt. Die Besitze der Rosenberger in Österreich wurden nach und nach weniger. Im 14. Jahrhundert waren die Wallseer und die Harracher jene mit den größten Grundbesitzen in der Gegend um Waldenfels.

Zur Entstehung von Schloss Waldenfels gibt es mehrere Theorien. Die Erste ist aufbauend auf der Kaufurkunde von 1330. Dort ist der Handel, zum Erwerb des Grundstückes und die Genehmigung zum Bau einer Burg, zwischen Eberhard von Wallsee und den Brüdern Dietrich und Wohunk von Harrach aufgezeichnet. Dies spricht also für den Bau der ersten Anlage durch die Harracher Brüder.

Die zweite Theorie sagt, die Wallseer hätten die Genehmigung zum Errichten einer Burg bereits beim Erwerb der Ländereien vom Herzog bekommen. Die Burg könnte als Vorposten gegen die Rosenberger gedient haben.

In der dritten Theorie heißt es, Waldenfels wurde von den benachbarten Waldenburgern als Ersatz für ihre zerstörte Burg gebaut. Diese Vermutung ist auch durchaus plausibel. Als erster Lehensträger von Waldenfels scheint ein Waldenburger auf. Welche Annahme stimmt, ist nicht vollständig geklärt. [Birngruber 2008]

Die Datierung für die Errichtung der ersten Anlage ist jedoch laut Patrick Schicht und Klaus Birngruber auf etwa Mitte des 14. Jahrhunderts an zu nehmen. [Schicht 2005. Birngruber 2008]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 102: Übersichtsplan, Schloss Waldenfels, Amt der OÖ. Landesregierung

5.1.2 Die bauliche Entwicklung

Anfänglich wurde ein frei stehender großer Turm auf dem, heute im Zentrum des Schlosses liegenden, Felsblock errichtet. Im Hochmittelalter war die Auslagerung der Adelssitze aus den Siedlungen üblich. Der überhöhte Standpunkt des Gebäudes ist eine weitere typische Charakteristik für die damalige Zeit. Die erhöhte Lage spiegelte die Rangordnung gegenüber der restlichen Bevölkerung wieder. Im 14. Jahrhundert wurden häufig solche Wohntürme errichtet. Den Türmen waren oft Wirtschaftsgebäude angebaut. [Schicht 2005]

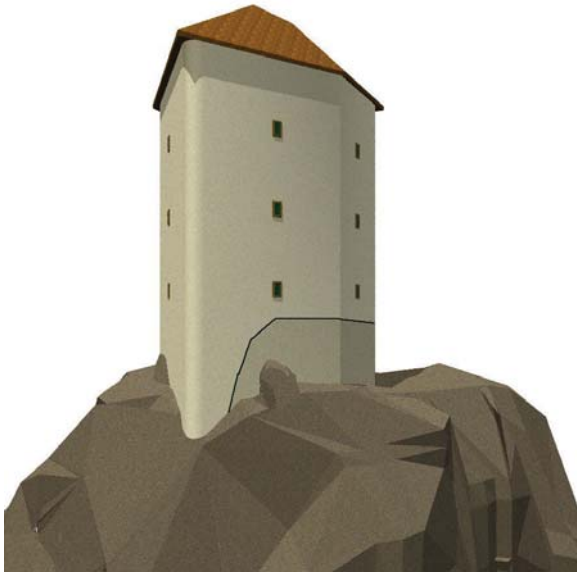


Abb. 103: Wohnturm Mitte des 14. Jh., Schicht Patrick

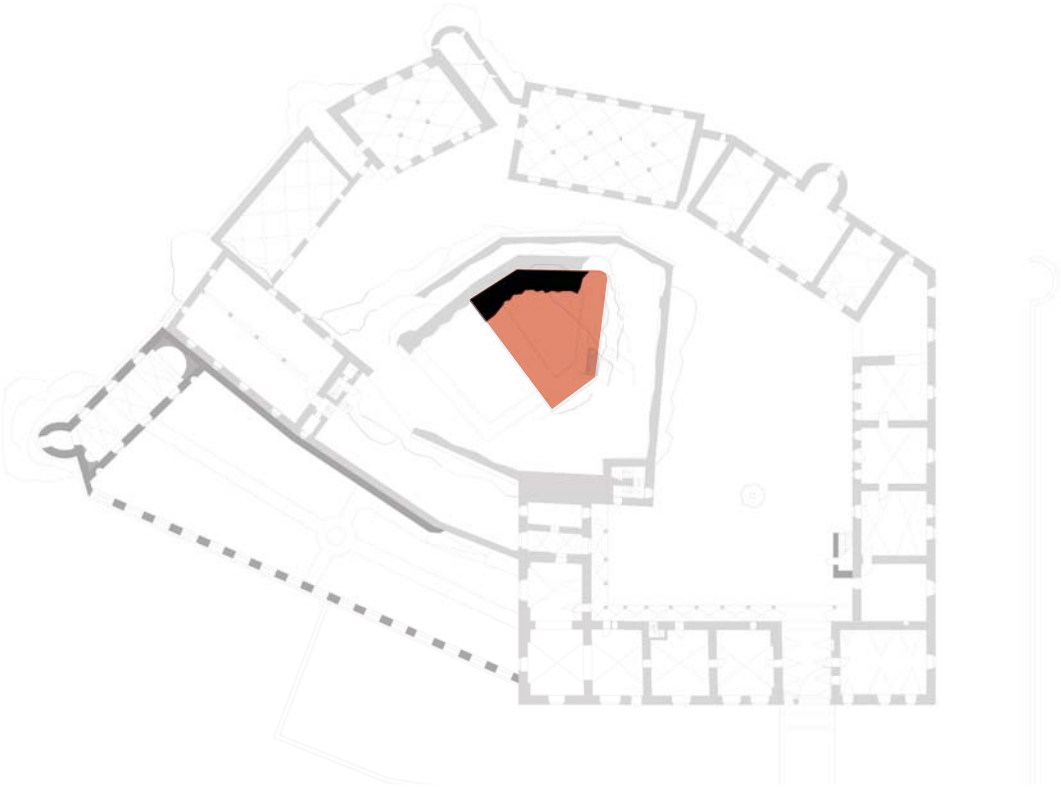


Abb. 104: Grundriss, Wohnturm Mitte des 14. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Ende des 14. Jahrhunderts wurden die Ansprüche durch den Adel höher. Der Platz und der Komfort in den Türmen reichte ihnen oft nicht mehr aus. Auch in Waldenfels wurde die Kernburg erweitert und eine zwingerartige Ringmauer um die Burg errichtet. [Schicht 2005]

Abb. 105: Wohnturm Ausbau Ende des 14. Jh., Schicht Patrick

Abb. 106: Wohnturm Ringmauer Ende des 14. Jh., Schicht Patrick

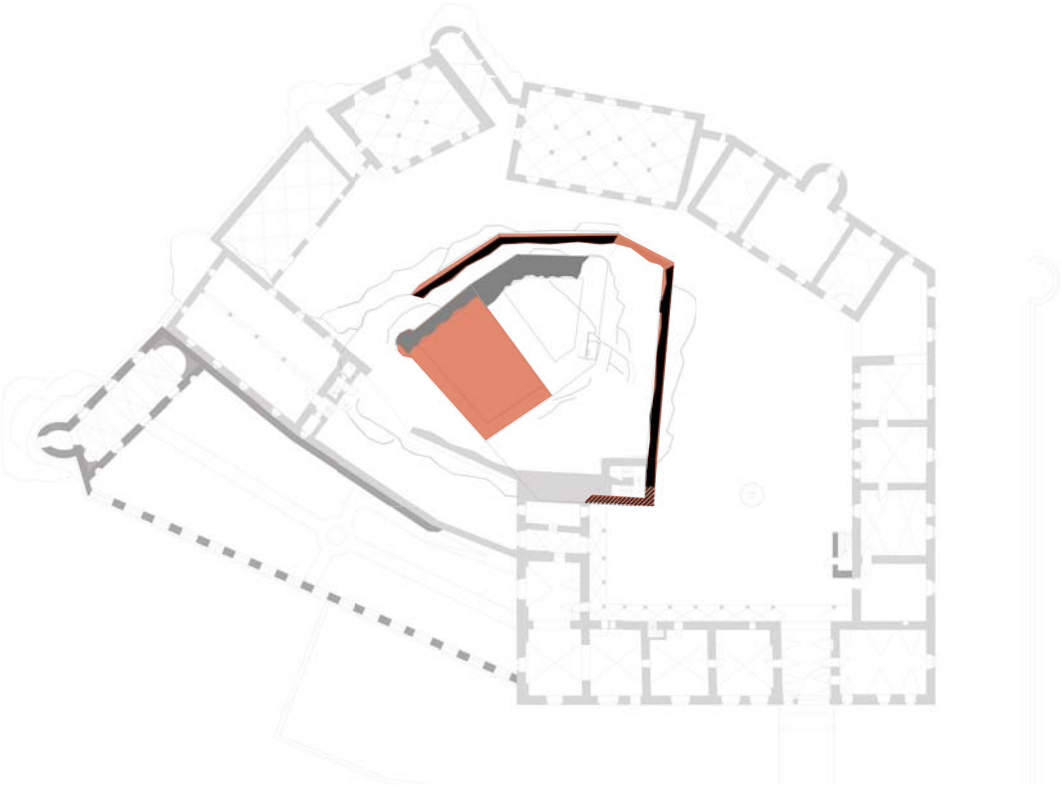


Abb. 107: Grundriss, Wohnturm Ausbau Ende des 14. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Unterburg entstand erst Anfang des 16. Jahrhunderts. Durch die damalige wirtschaftliche Entwicklung baute man die Wohnburgen oft zu gewinnbringenden Geschäftsbereichen aus. Mitte des 16. Jahrhunderts folgte der Bau eines landwirtschaftlichen Speichers. Für die spätere Verwendung als Gerichtsbau wurden Zellen errichtet. [Schicht 2005]

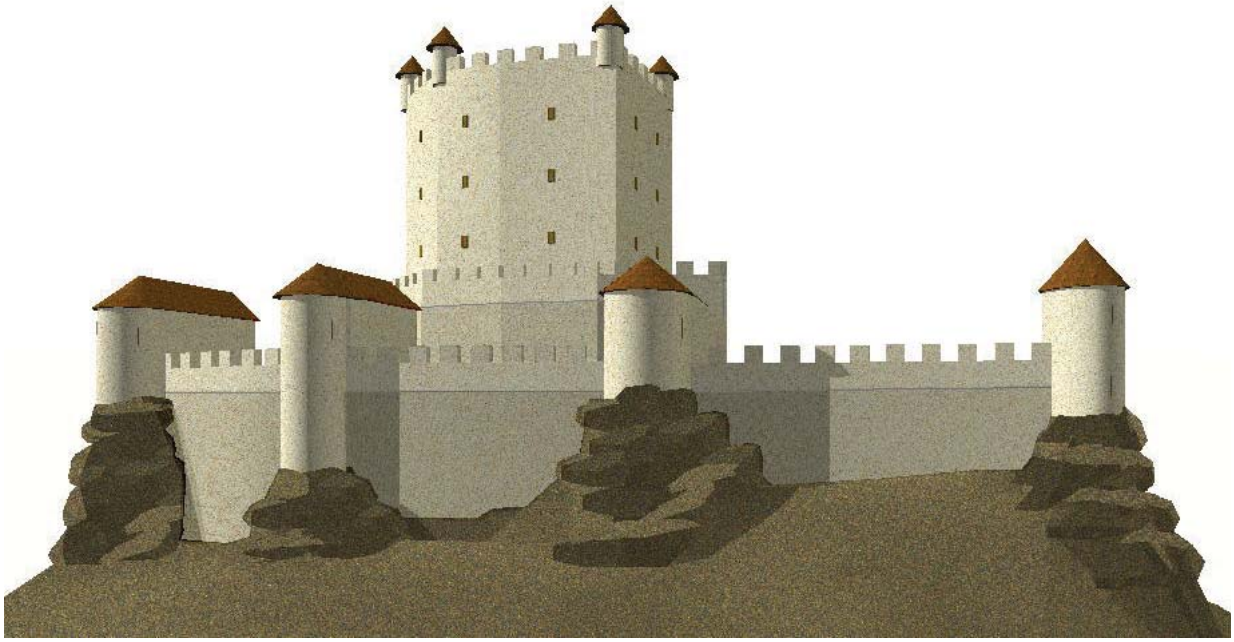


Abb. 108: Waldenfels Anfang des 16. Jh., Schicht Patrick

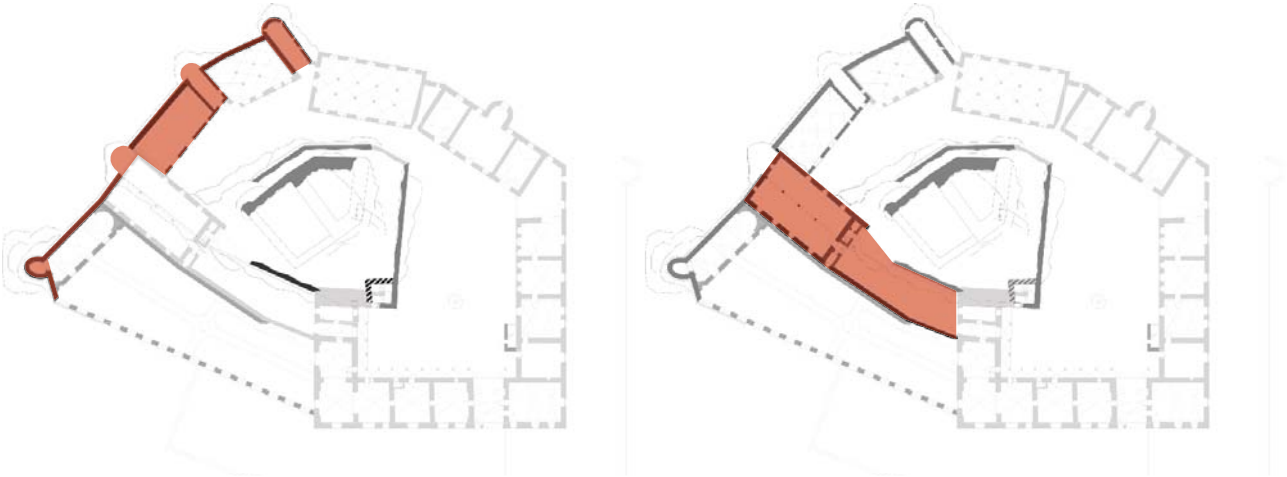


Abb. 109: Grundriss, Unterburg Anfang des 16. Jh. und Gerichtsbau Mitte des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Der Umbau zum Landschloss erfolgte Mitte des 16. Jahrhunderts.
Der östliche Hof ist bis heute wesentlich unverändert erhalten. Er bildet in seinem Grundriss ein annäherndes Quadrat. Der nördliche Teil des Traktes knickt nach außen ab. Vermutlich um eine Anbindung zum bestehenden Wirtschaftsteil zu ermöglichen. Der südliche Teil formt die repräsentative Eingangsfront. Tendenziell war zu dieser Zeit eine Trennung von Wehr- und Wohnbauten zu erkennen. Einige Elemente aus der Typologie der Wehrbauten sind rein formal umgesetzt. Die Brücke am Haupttor trat als Zugbrücke in Erscheinung, war von der Funktion her jedoch eine gewöhnliche Holzbrücke mit angehängten Ketten. Die Kellerfenster im Burggraben hatten ebenso keinerlei Sicherungsvorkehrungen. [Schicht 2005]

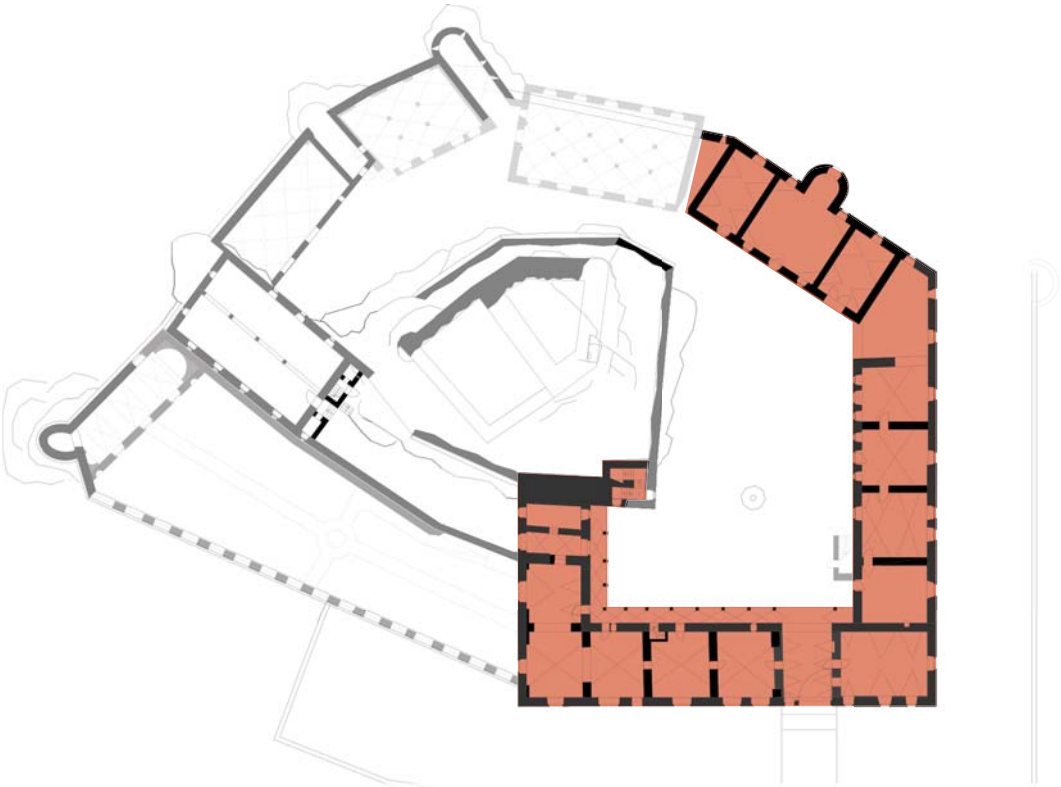


Abb. 110: Grundriss, Wohntrakt Mitte des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Stallungen wurden erst Ende des 16. Jahrhunderts erbaut.
Der Pferdestall im Norden ist durch acht Pfeiler gegliedert. Die sich daraus ergebenden drei Schiffe und fünf Joche, bilden die Aufteilung der einzelnen Pferdeboxen. Der daneben liegende kleinere Schweinestall ist vom Grundkonzept her gleich aufgebaut. Er besitzt jedoch nur vier Säulen. Das ganz im Westen liegende Gebäude im Wirtschaftstrakt ist der Wagenschuppen. Anfänglich war diese Halle wohl auch ein Pferdestall mit zentraler Säulenreihe. Im späteren Verlauf wurde der Raum zu einem Wagenschuppen umfunktioniert. In etwa ein Drittel der Schlossfläche wurde als Stall verwendet. Vor allem Pferde wurden gehalten. Diese waren damals repräsentativer Bestandteil des Adels. [Schicht 2005]

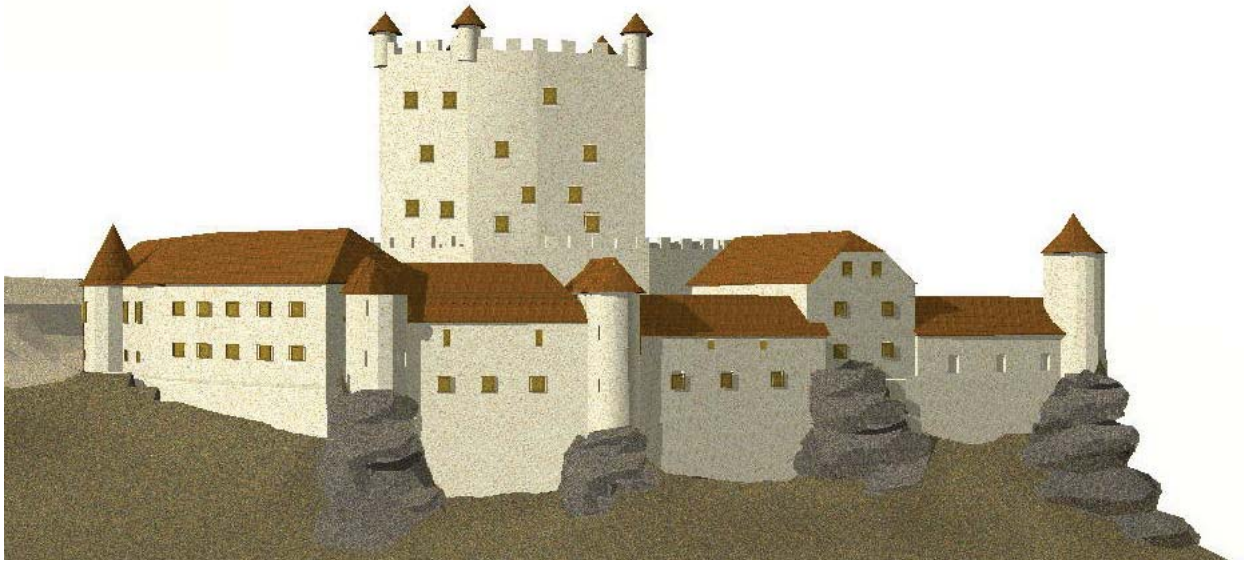


Abb. 111: Waldenfels Ende des 16. Jh., Schicht Patrick 2005:

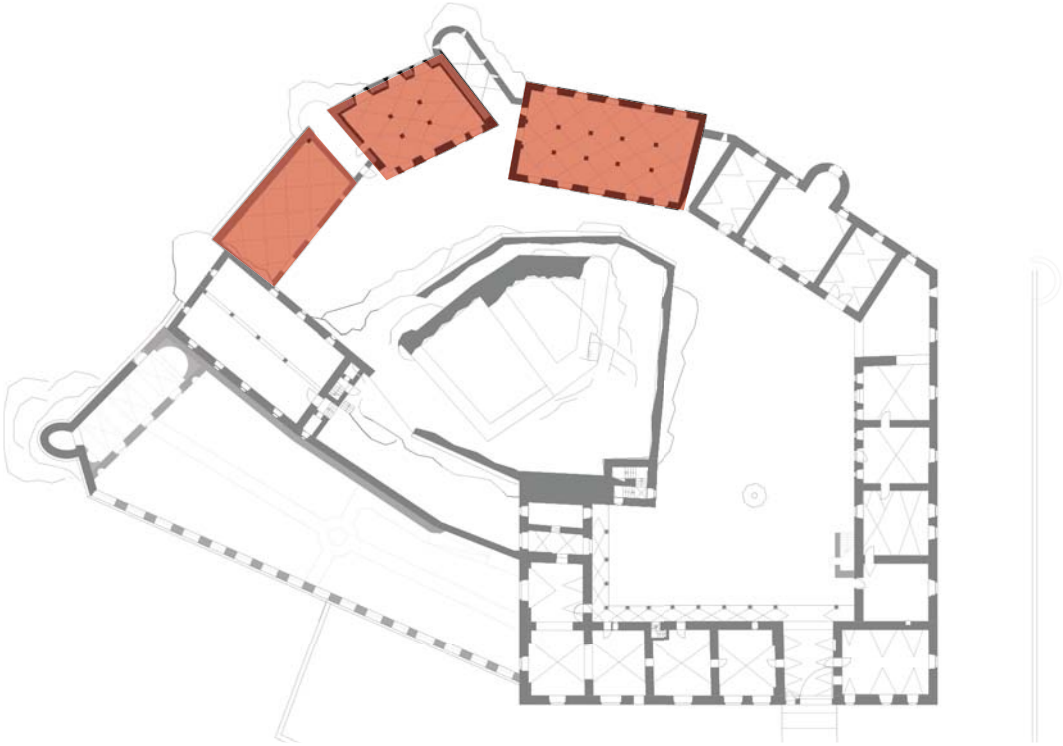


Abb. 112: Grundriss, Ställe Ende des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

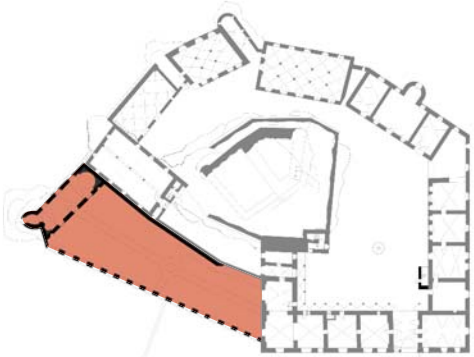


Abb. 113: Grundriss, Sala Terrena und vorgesetzter Garten Mitte des 17. Jh., Basierend auf Schicht Patrick

Der Turnierhof wurde damals als Garten mit zentralem Brunnen gestaltet. Gegenwärtig ist in der Gartenanlage ein Schwimmbecken eingebaut. Direkt an den Garten angeschlossen liegt die Sala terrena. Der Raum ist mit zwei seitlichen Scheingrotten versehen. Im 17. Jahrhundert wurde die Sala terrena für Wasserspiele und als Festsaal verwendet. Die Delfin Skulptur im Innenraum ist von der damaligen Gartenanlage am Turnierplatz hierher verlegt worden. Vor und in dem Gebäude sind mehrere Skulpturen aus der Mythologie platziert. Der Schlossteich wurde ebenfalls im Zuge des Gartenkonzeptes angelegt.

Ab dem 18. Jahrhundert gab es nur noch kleinere Umbauten. Im Südtrakt vergrößerte man beispielsweise die Fenster und versah sie mit Rokoko-Verzierungen. Im östlichen Teil schuf man durch Zwischenwände eine neue Raumaufteilung. Man erhöhte die Decken und die Räume bekamen jeweils einen frei stehenden Kachelofen. Es wurde ein Treppenaufgang vom Hof zum Arkadengang im ersten Geschoss errichtet. Des Weiteren wurde der Festsaal im nördlichen Trakt gegen Räume für Diener ersetzt. 1809 wurde die zentrale Hochburg abgetragen und der Schutt verkauft. Im 19. Jahrhundert wurden noch die Schlosstrakte renoviert und der Dachstuhl neu gebaut.

Im 20. Jahrhundert wurden nur noch wenige Änderungen vorgenommen. Das Gebäude, wurden hauptsächlich an die modernen Wohnstandards angepasst. Es wurden Sanitäranlagen und Elektroleitungen integriert. Ebenfalls wurde eine Zentralheizung eingebaut, welche einen Teil des Schlosses mit Wärme versorgt. In dieser Zeit errichtete man auch das schon erwähnte Schwimmbecken in der Gartenanlage vor der Sala terrena. Die in diesem Abschnitt dargestellten Abbildungen zur Entwicklung des Schlosses sind hypotetische Idealrekonstruktionen, welche Patrick Schicht im Zuge der geschichtlichen Aufarbeitung des Schlosses erstellt hat. [Schicht 2005]

Die Abläufe der Standards der Baudenkmalpflege sind in Schloss Waldenfels umgesetzt. Als ersten Schritt setzte man eine umfangreiche historische Aufarbeitung des Schlosses um. Darüber wurden Strategien für die Erhaltung und Neunutzung erstellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

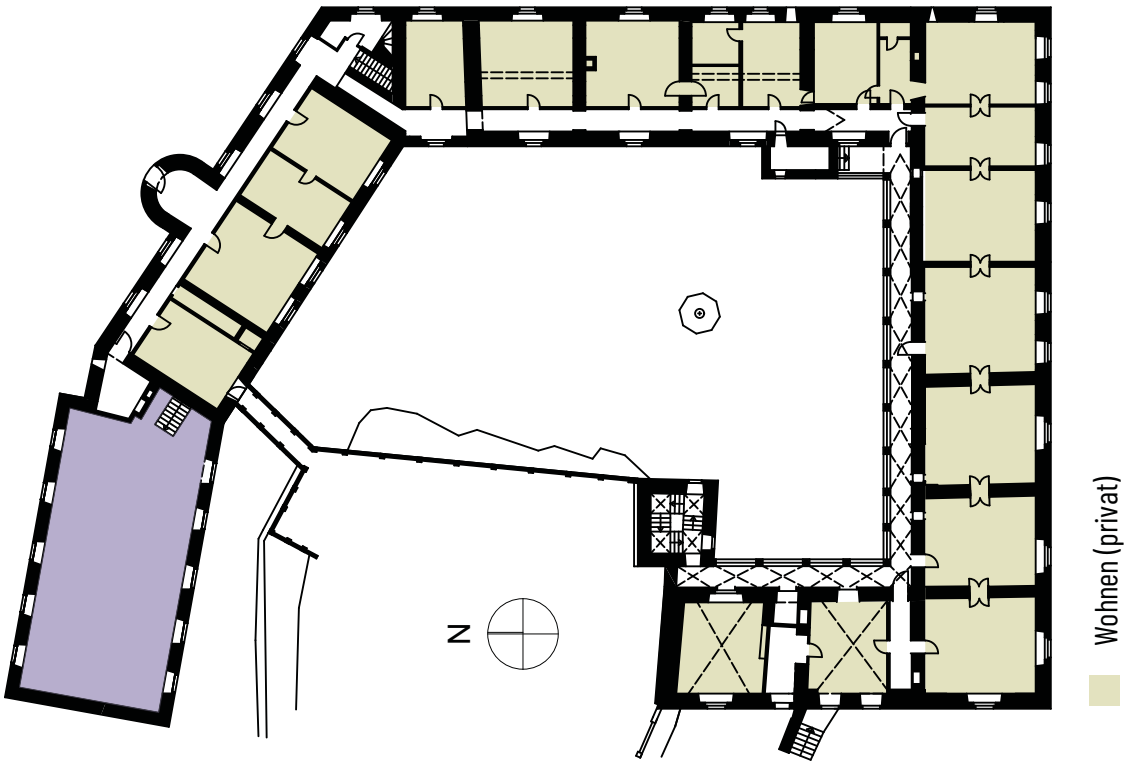


Abb. 114: Grundriss 1.OG, Schloss Waldenfels

5.1.3 Die aktuelle Nutzung

Seit 1636 befindet sich Schloss Waldenfels in Besitz der Grafen Grundemann von Falkenberg. Das Schloss wurde bis zur Übernahme von Domink Grundemann Falkenberg ausschließlich privat genutzt. Danach wurde über mögliche Nutzungsänderungen diskutiert. Eine Überlegung war, einen Teil des Schlosses permanent öffentlich zugänglich zu machen. Dies wurde aus mehreren Gründen nicht umgesetzt. Stattdessen wurde die Variante einer zeitlich begrenzten öffentlichen Nutzung bevorzugt. Es werden Bereiche des Schlosses für temporäre Veranstaltungen zur Verfügung gestellt, die restliche Zeit wird das Schloss privat genutzt. Die im Plan in orange eingezeichneten Bereiche stehen für temporäre Veranstaltungen zur Verfügung.

Der Eingangsbereich befindet sich im südlichen Teil des Osttraktes. Die Veranstaltungsräume liegen direkt an der Eingangsfront. Im Zentrum des Osttraktes befindet sich ein großer Innenhof der unter anderem für Feste und Veranstaltungen genutzt wird. Hochzeiten, können in der schlossinternen Kapelle stattfinden. Für die anschließenden Feierlichkeiten stehen die Veranstaltungsräume und der Schlosshof zur Verfügung.

Für den Turnierhof, sowie die Sala terrena ist ebenfalls eine temporäre öffentliche Nutzung angedacht. Die im nördlichen Teil des Schlosses befindlichen Räume dienen hauptsächlich als Lagerfläche. Das 1. Obergeschoss des Osttraktes wird als privater Wohnraum genutzt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 115: Grundriss EG, Schloss Waldenfels

5.1.4 Veranstaltungsräume Richtlinien

Für die Veranstaltungsplanung sind einige grundlegenden Regeln zu beachten. Zu Beginn ist zu klären, in welche Kategorie die Räume eingeordnet werden müssen. In den OIB-Begriffsbestimmungen werden mehrere Begriffe angeführt.

„Versammlungsraum
Raum für größere Menschenansammlungen."

„Versammlungsstätte
Bauwerke, Gebäude oder Gebäudeteile sowie Bereiche im Freien jeweils für größere Menschenansammlungen. Diese können aus einem Versammlungsraum oder mehreren zusammenhängenden Räumen für kulturelle, künstlerische, sportliche, unterhaltende oder andere vergleichbare Aktivitäten bestehen. Mehrere derartige zusammenhängende Räume gelten als Versammlungsstätte, wenn sie in Summe für mehr als 240 Personen bestimmt sind. Zur Versammlungsstätte zählen auch zugehörige Bereiche wie z.B. Erschließungs- und Fluchtwege, Foyers, Garderoben, Sanitärräume, Lagerräume und Werkstätten."

„Menschenansammlung, größere
Gleichzeitige Anwesenheit von mehr als 120 Personen für kulturelle, künstlerische, sportliche, unterhaltende oder andere vergleichbare Aktivitäten."
[OIB 2019]

Die Anforderungen an Versammlungsstätten, laut der oben angeführten Definition, sind relativ hoch. Ein Beispiel sind die Vorschriften für die Anbringung von Sicherheitsbeleuchtungen. In den Räumlichkeiten von Schloss Waldenfels wäre ein solcher Eingriff kaum vertretbar. Auch in anderen Bereichen, wie Durchgängen und Toilettenanlagen, wären größere bauliche Eingriffe notwendig. Daher werden die Veranstaltungskonzepte in dieser Arbeit für maximal 240 Personen ausgelegt.
Die Veranstaltungsräume im Schloss befinden sich im Erdgeschoss und jeder Raum hat eine Verbindung zum Innenhof. Die Entfluchtung der Räume gestaltet sich daher auch relativ unproblematisch.
Im Bereich der Veranstaltungsräume wurden bereits Toilettenanlagen errichtet. Es ist jeweils eine Toilette für Männer und eine für Frauen vorhanden.
Die grundlegenden baulichen Voraussetzungen für Veranstaltungen bis zu 240 Personen sind in Waldenfels bereits vorhanden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

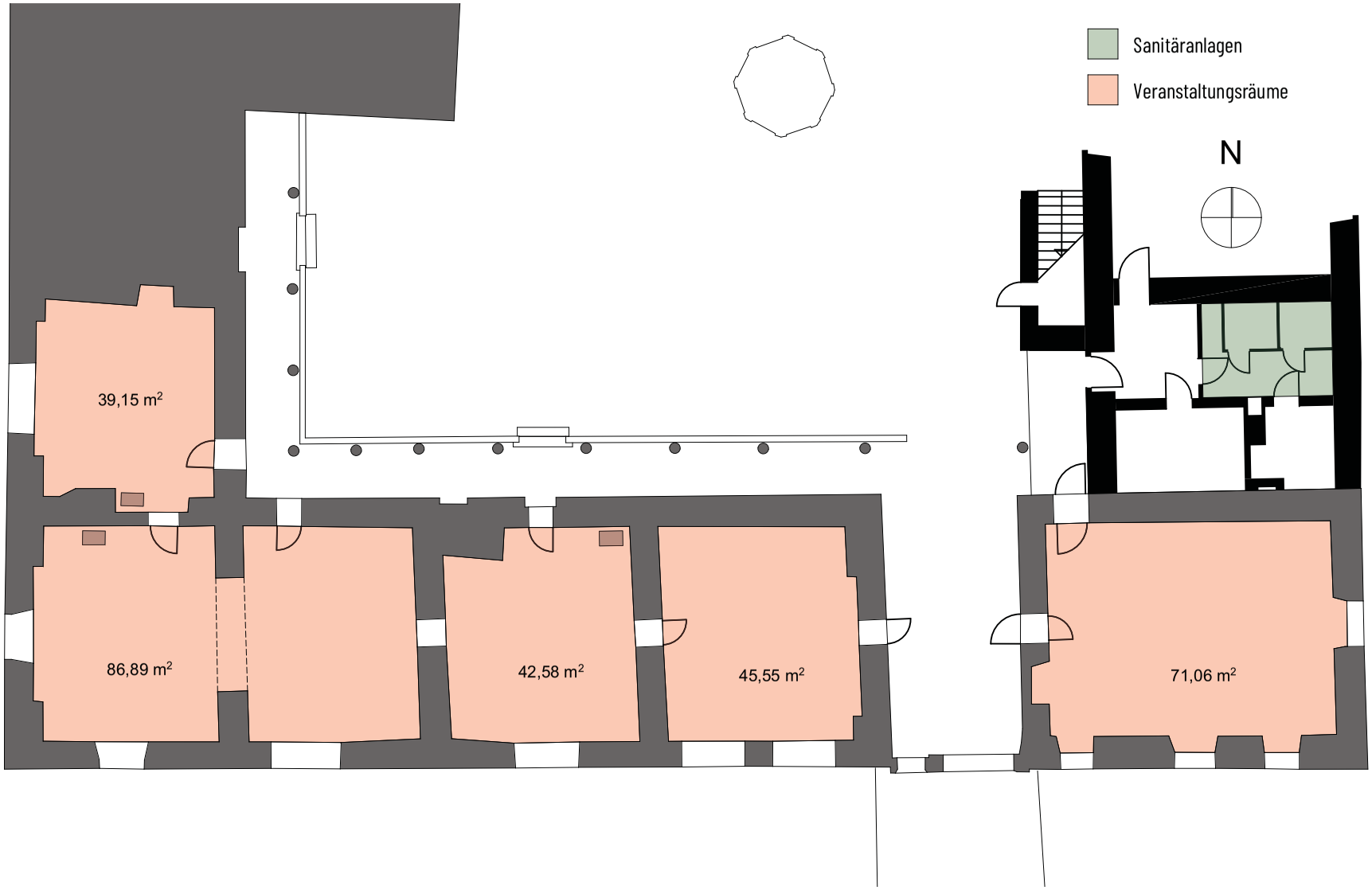


Abb. 116: Grundriss EG, Veranstaltungsräume

5.1.5 Veranstaltungen Impressionen

Die Räumlichkeiten im Schloss Waldenfels werden für die verschiedensten Anlässe genutzt. Beispielsweise finden im Sommer regelmäßig Konzerte im Schloss statt.

Abb. 117: Musiksommer 2019, Peter Ferschin

Abb. 118: Musiksommer 2019, Dominik Grundemann-Falkenberg,

Hochzeiten, können in der schlossinternen Kapelle stattfinden. Für die anschließenden Feierlichkeiten stehen die Veranstaltungsräume und der Schlosshof zur Verfügung.

Abb. 119: Hochzeit Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels,

Der Bogensportverein Waldenfels nutzt die Räume und den Innenhof für Sitzungen, Siegerehrungen und Bewerbe wie zum Beispiel 2018 beim Nordcup Waldenfels.

Abb. 120: Nordcup 2018 Waldenfels, Bogensport Waldenfels

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Für Seminare und Workshops werden die Veranstaltungsräume im Erdgeschoss genutzt. Es wurden bereits mehrere Workshops der TU-Wien dort abgehalten.

Abb. 121: Seminar Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels,

Märkte, Themenessen, Ausstellungen oder sonstige Feierlichkeiten die Veranstaltungsbereiche stehen für alle Arten der Nutzung zur Verfügung.

Abb. 122: Feste Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

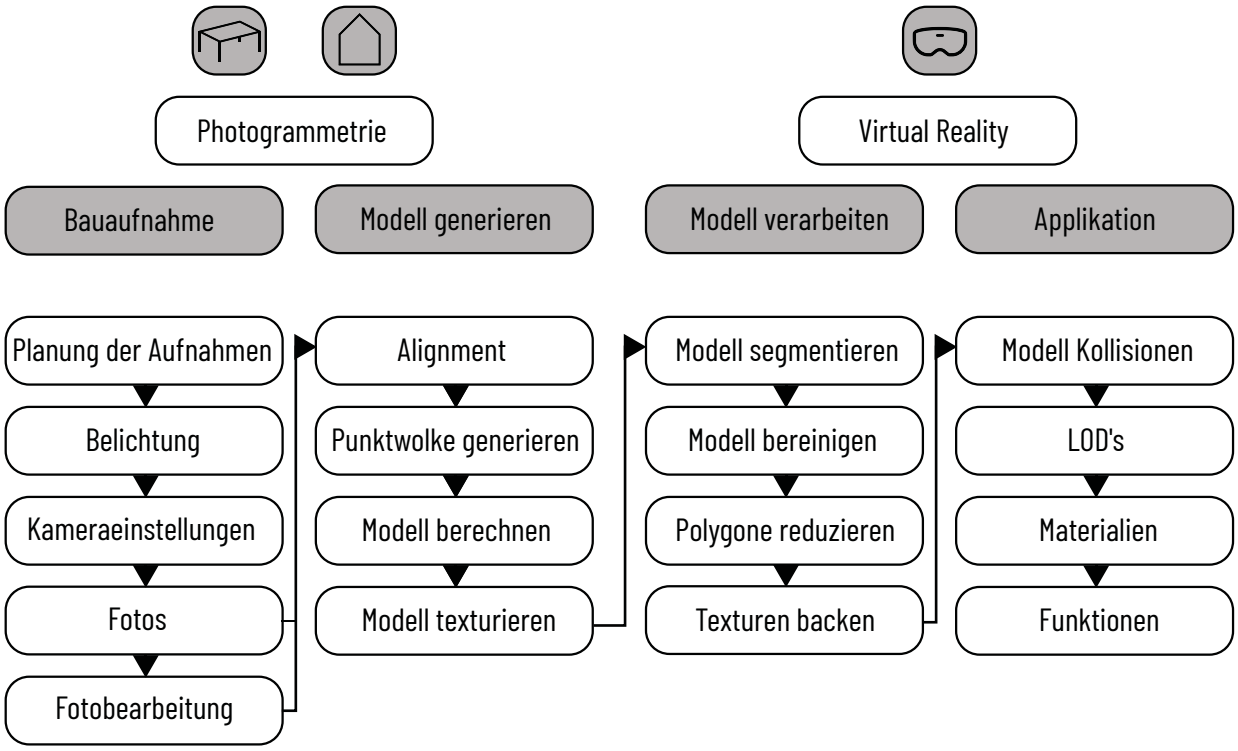


Abb. 123: Ablaufdiagramm Photogrammetrie bis VR-Applikation

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.2 Bauaufnahme

Die ersten Tests für die Bauaufnahme erfolgten im Februar 2019 bei einem fünftägigen Aufenthalt am Schloss Waldenfels. Das Schloss war zu dieser Jahreszeit noch mit Schnee bedeckt. Dieser Umstand erschwerte das Aufnahmeprozedere. Es konnten trotzdem erste Erfahrungen gesammelt und Testaufnahmen erstellt werden.

Abb. 124: 3D-Modell Schloss Waldenfels, Resultat aus den Testaufnahmen

Bei den Aufnahmen wurden einige Problemstellungen ausgemacht.

Bewegung von Objekten

In diesem Fall wurden die Autos, zwischen den Aufnahmen der einzelnen Abschnitte, immer wieder umgeparkt. Als Resultat ergaben sich Textur-Fehler oder auch fehlerhafte Geometrie.

Abb. 125: Texturfehler durch bewegte Objekte

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Anzahl der Fotos

Ebenfalls wurde sehr schnell klar, dass für das Erreichen einer sauberen Geometrie eine entsprechend hohe Anzahl an Fotografien notwendig ist. Bei den ersten Aufnahmen wurde ein zu großer Abstand gewählt und zu wenig Aufnahmen gemacht. Das Ergebnis war eine raue Oberfläche mit Stufen und Geometriefehlern.

Abb. 126: 3D-Modell des Arkadenganges, zu wenig Fotos

Glasflächen

Durch die Spiegelung der Glasflächen an der Galeriefassade entstanden starke Geometriefehler. Die gewünschte Durchsicht auf die innen liegende Wand ist nicht gewährleistet. Um der Galerie ihre räumliche Wirkung zu geben, bedarf es auch einer Aufnahme des Innenbereiches. Deshalb wurde dieser verglaste Gang in die Planung als eigener Abschnitt hinzugefügt.

Abb. 127: Geometriefehler durch Spiegelungen im Fensterglas

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Veranstaltungsräume

Die ersten Tests in den Veranstaltungsräumen verliefen relativ gut. Die größte Herausforderung war die Belichtung. Die Ausleuchtung der Räume funktionierte sehr gut über die, in jedem Raum, an der Decke befestigten Luster. Die Aufnahmen des Gewölbes im Bereich der Lampen waren jedoch extrem überbelichtet im Gegensatz zur Umgebung.
Eine Aufnahme der Räume bei Tageslicht ergab Überbelichtung und Schattenwurf im Bereich der Fenster. Bei der Aufnahme der Kastenfenster traten ähnliche Probleme wie bei der außen liegenden Verglasung der Galerie auf.
Diese Problemstellungen wurden ebenfalls in die Planung für die finale Aufnahme aufgenommen.

Abb. 128: Überbelichtung im Bereich der Lampen

Abb. 129: Geometriefehler an den Fenstern

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die finale Bauaufnahme erfolgte im Mai 2019 bei einem neuntägigen Aufenthalt im Schloss. Die Wetterbedingungen waren gut für die photogrammetrischen Aufnahmen geeignet.
Die geplante Bauaufnahme umfasste den gesamten Außenbereich des Schlosses. Aufgrund der im Testlauf erhaltenen Erkenntnisse wurde zusätzlich die Galerie im ersten Obergeschoss von innen aufgenommen.
Des Weiteren wurden sechs Innenräume vermessen. Diese Räumlichkeiten befinden sich im Erdgeschoss des südlichen Teiles des Schlosses, unterhalb der Galerie.

5.2.1 Planung der Abläufe

Nach einer Besichtigung des Schlosses wurde der komplexe Baukörper in Abschnitte aufgeteilt. Diese Abschnitte stellen die Bereiche dar, die jeweils in einem Zug aufgenommen werden sollen. Die Größe der Bereiche richtet sich nach Akkukapazität und Wettersituation. Außerdem wurde versucht die einzelnen Abschnitte mit Berücksichtigung auf die Himmelsrichtungen zu unterteilen. Die Beeinflussung durch den Sonnenstand ist nicht zu vernachlässigen, selbst bei bewölkter Wetterlage.

Abb. 130: Aufteilung des Außenbereiches

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

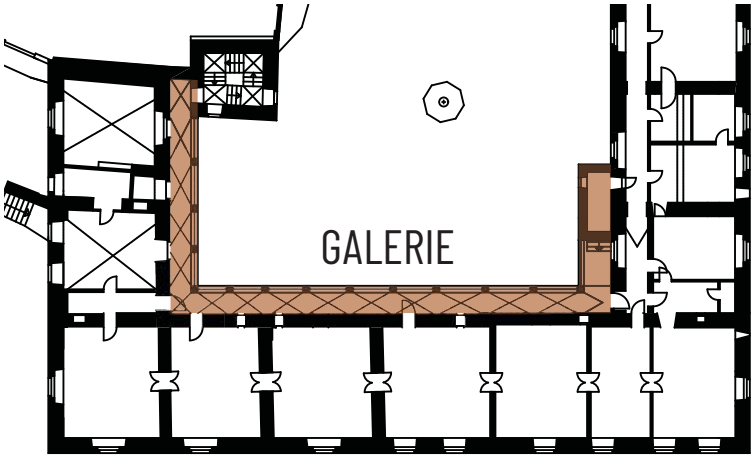


Abb. 131: Grundriss 1.OG, Galerie, M 1:500

Die Galerie wurde von innen, sowie von außen aufgenommen. Die Fotografien des innen liegenden Ganges werden als eigener Abschnitt berechnet und anschließend mit den Teilen des Außenbereiches vereinigt.
Die Abbildung links, zeigt den Grundriss des ersten Obergeschosses im Bereich der Galerie.

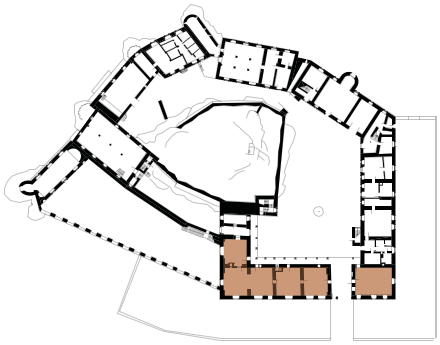


Abb. 132: Grundriss EG, Veranstaltungsräume, M 1:2000

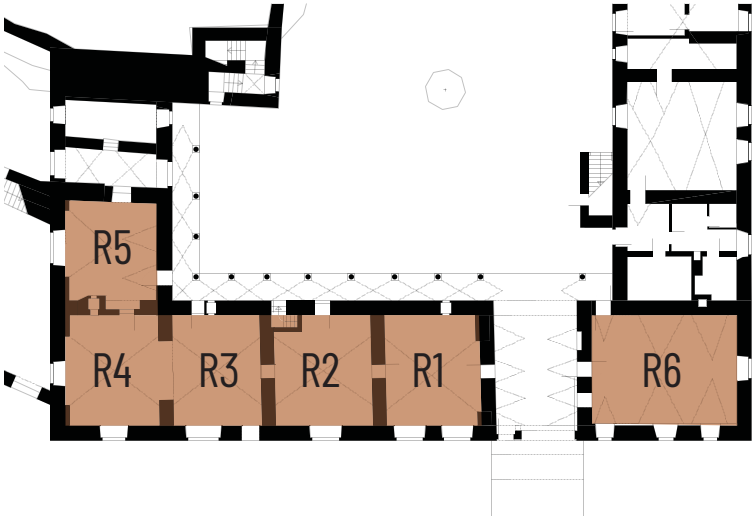


Abb. 133: Grundriss EG, Veranstaltungsräume, M 1:500

Die Veranstaltungsräume im südseitigen Erdgeschoss wurden als eigenständiges Modell berechnet. Die Verbindung mit den Außenbereichen wurde erst nachträglich durchgeführt.
Die Aufteilung der Aufnahmen erfolgte raumweise. Zusätzlich zu den generellen Raumaufnahmen wurden Nahaufnahmen der Fenster angefertigt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Ausrüstung

Kamera
Olympus OMD EM-10 II

Objektive
Olympus M.Zumiko 14-42mm 1:3,5-5,6
Panasonic Lumix G 25 mm 1:1,7

Stabilisierung
Diverse Stative
Teleskopstange

Filter
Zirkularer Polfilter Hoya
Lineare Polfilterfolie

Rechner
CPU: 16 Kerne, 3,4 GHz
GPU: 2x NVIDIA TITAN V
Speicher: 128GB RAM

Licht
Ringleuchte Walimex pro 75W
LED-Panel
2x Leuchtstoff-Glühbirnen

VR
Windows Mixed-Reality Lenovo Explorer

Drohne
DJI Phantom 4 Pro
I-Pad zur Steuerung

Programme
Blender
Reality Capture
Meshlab
Unreal Engine 4
Pix4D

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Genauigkeit

Für die Erstellung einer Aufnahmeabfolge der einzelnen Abschnitte wird eine ungefähre Abschätzung der Aufnahmeentfernung benötigt. Diese lässt sich wie im Abschnitt Genauigkeit beschrieben wie folgt Berechnen.

Die folgende Berechnung ergibt die Aufnahmeentfernung für eine Genauigkeit von rund einem halben Millimeter pro Pixel für die unterschiedlichen Kameramodelle.

Pixelgröße	=	Sensorgröße / Auflösung
Abstand	=	1 / (Pixelgröße / Genauigkeit) x (Brennweite x Crop Faktor)

Olympus OMD EM-10 II

Pixelgröße	=	17,3 / 4608
	=	0,0038 mm
Abstand (14mm)	=	1 / (0,0038 / 0,5) x (14 x 2)
	=	3729 mm

Für die Handfotografien mit der OMD und dem 14mm Objektiv ist ein Abstand von rund 3,7 Metern zur Aufnahmeebene zu nehmen.

Abstand (25mm)	=	1 / (0,0038 / 0,5) x (25 x 2)
	=	6659 mm

Mit dem 25 mm Objektiv ist für diese Genauigkeit 6,6 Meter ausreichend.

DJI Phantom 4 Pro

Pixelgröße	=	13,2 / 5472
	=	0,0024 mm
Abstand (8mm)	=	1 / (0,0024 / 0,5) x (8 x 2,7)
	=	4477 mm

Die Drohnen-Aufnahmen können mit ca. 4,4 Meter Abstand erstellt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

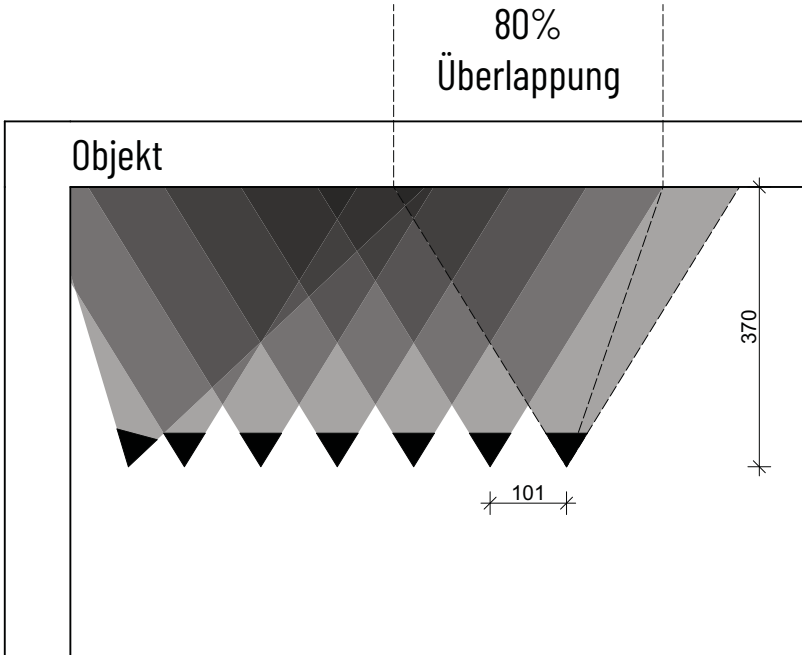


Abb. 134: Draufsicht einer Wandecke, horizontale Abstände mit 80% Überlappung für Olympus OMD EM-10 II

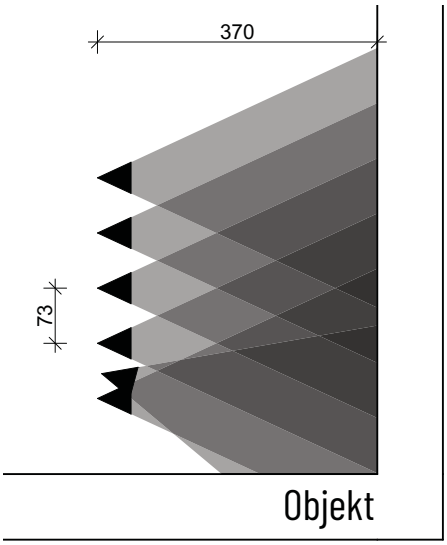


Abb. 135: Seitenansicht, vertikale Abstände mit 80% Überlappung für Olympus OMD EM-10 II

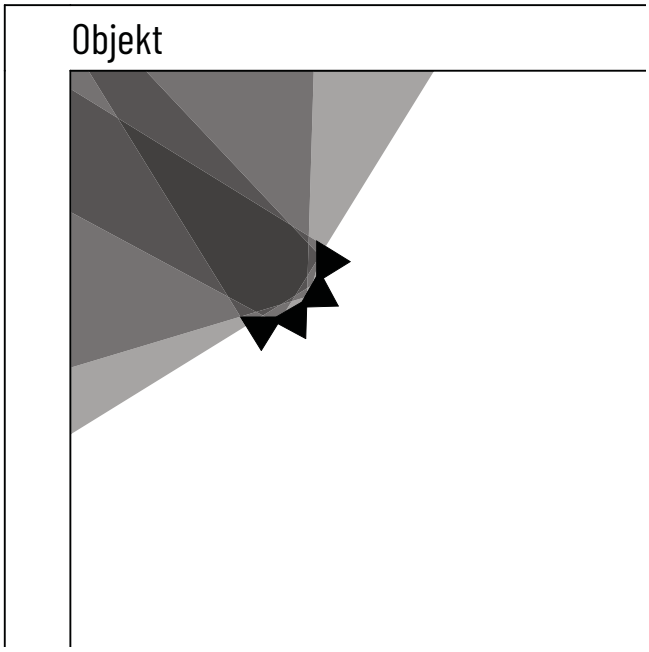


Abb. 136: Draufsicht einer Wandecke, Aufnahme einer Ecke für Olympus OMD EM-10 II

Durch die zuvor berechnete Distanz zum Objekt können nun die Abstände zwischen den einzelnen Fotografien in vertikaler sowie horizontaler Richtung ermittelt werden. In den auf dieser Seite abgebildeten Grafiken wird das Aufnahmeschema für die Olympus OMD dargestellt.

Bei einer Überlappung von 80 % zwischen den einzelnen Fotos ergeben sich ein horizontaler Abstand von ca. 1 m und rund 75 cm Abstand in der Vertikalen.

Zur bestmöglichen Verknüpfung zweier Wände ist eine fächerförmige Aufnahme in der Ecke zu erstellen.

Diese Werte sind als Anhaltspunkt zu sehen und können durch die manuelle Ausführung der Aufnahmen nur angenähert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.2 UAV-Aufnahmen

Die Fassaden von Schloss Waldenfels sind an einigen Stellen sehr hoch und nur über abschüssiges Gelände erreichbar. Daher wurden die Fassaden mithilfe einer Drohne aufgenommen.
Für die Drohnen-Aufnahmen kam die Software PIX4D zum Einsatz. Diese spezielle Applikation ermöglicht das automatische Abfliegen und Aufnehmen eingegebener Sequenzen, sowie die manuelle Steuerung der Drohne.
Anfänglich wurden die verschiedenen Automatiken getestet. Die größten Schwierigkeiten für den Einsatz der Automatik-Programme waren die Höhensprünge im Gelände und bei den Gebäuden, die komplexe Geometrie und die teilweise engen Höfe. Weitere problematische Faktoren waren die Bäume und Sträucher, im und um das Schloss. Denn dünne Äste werden oft von den Kollisionssensoren nicht erkannt.

Abb. 137: UAV Gitterflug, Nord-Süd

Abb. 138: UAV Gitterflug, West-Ost

Abb. 139: UAV Kreisbahn

Der erste Test erfolgte über einfache gitterförmige Überflüge. Es wurde ein Flug mit senkrechter Kamera nach unten ausgeführt sowie mehrere Flüge mit in unterschiedlichen Winkeln nach oben geschwenkter Kamera.
Die Flugroute musste aufgrund der hohen Bäume und des Turmes sehr hoch gewählt werden, daher waren die Ergebnisse auch dementsprechend grob aufgelöst.

In einem anderen Versuch wurde eine Kreisbahn um das Schloss ausgeführt. Dabei waren wiederum Bäume in der unmittelbaren Umgebung des Schlosses der limitierende Faktor. Durch die wiederum sehr große Flughöhe traten ähnliche Probleme wie beim ersten Test auf.

Durch die Komplexität und die vielen Hindernisse konnte die im Kapitel ``Photogrammetrie`` beschriebene Aufnahmevariante über Volumenmodelle nicht durchgeführt werden.

Im Endeffekt blieb nur die Möglichkeit einer manuellen Steuerung der Drohne.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Mit ein wenig Übung ist ein manuelles Steuern der Drohne gut möglich. Die eingebauten Sensoren und automatischen Stabilisierungsmechaniken halten das Fluggerät sehr stabil in der Luft. Selbst bei mäßigem Wind ist ein ruhiges Fliegen möglich. Schwierig bei der manuellen Aufnahme mit der Drohne ist vor allem das Einhalten einer gleichmäßigen Distanz zum Gebäude, sowie der Einhaltung der richtigen Aufnahme Abfolge. Daher ist es wichtig einen möglichst genauen Flugablauf zu erstellen. Wie vorhin bereits ausgerechnet, können die Aufnahmen mit einer Distanz von rund 4,4 m erfolgen. Der horizontale Abstand zwischen den Fotos sollte nicht mehr als 1,5 m betragen. In der Vertikalen sollte ca. 1 m nicht überschritten werden.
Das manuelle Auslösen jedes Fotos wäre zu ungenau und fehleranfällig. Daher wurde ein Programm verwendet, das eine automatisierte Auslösung beinhaltet.
Die Software Pix4D bietet ein sequenzielles und automatisches Auslösen einer Fotografie über eine zurückgelegte Distanz. Die zurückgelegte Distanz wird über GPS ermittelt. Dadurch kann dieses Werkzeug nur bei ausreichend gutem GPS Empfang genutzt werden. Die Genauigkeit der Abstände zwischen den Fotos ist auf einen Mindestabstand von einem Meter begrenzt. Für die Außenaufnahmen von Schloss Waldenfels ist dies ausreichend.
Einige Bereiche des Schlosses stellten eine besondere Herausforderung bei der UAV-Aufnahme dar. An Engstellen, wie im Wirtschaftshof, konnte nur mit ausgeschalteten Kollisionssensoren geflogen werden. Aufgrund der geringen Distanz zu Gelände und Baukörpern hätten die Sensoren den Flug gestoppt. Ebenso schwierig gestaltete sich die Aufnahme der Nordseite des Treppenturms. Durch den dichten Bewuchs konnten von dieser Seite nur im Winter Aufnahmen gemacht werden. Ein Fliegen war ebenfalls nur ohne Sensoren möglich. Im Frühling war die Sichteinschränkung durch die Blätter an den Bäumen zu groß.
Die Software Pix4D in Kombination mit einem Apple-Gerät, ermöglicht nur Fotografien im Automatik-Modus. Da ein I-Pad zur Steuerung verwendet wurde, haben die einzelnen Bilder auch unterschiedliche Blenden und Belichtungszeiten. Da die Drohnen jedoch nur im Außenbereich eingesetzt wurde und dort meist ausreichend Licht vorhanden ist, fallen die leichten Unterschiede kaum auf. Die Aufnahmen mit der Drohne werden während des Fluges gemacht. Um Bewegungsunschärfe zu vermeiden, sollte die Geschwindigkeit der Drohne möglichst gering sein. Bei starkem Wind ist auch mit unscharfen Bildern zu rechnen.

Abb. 140: UAV-Aufnahmen mit DJI-Phantom 4 PRO, Schloss Waldenfels

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.2.3 Hand-Aufnahmen

Beim Fotografieren aus der Hand wurden die Belichtungszeiten und die Blende manuell an die Gegebenheiten angepasst. Besonders im Innenbereich war es eine Herausforderung einen Kompromiss zwischen Belichtungszeit, Blende und ISO-Wert zu finden.
Bei zu wenig Licht kamen Stativ und zusätzliche Beleuchtung zum Einsatz. Um Spiegelungen, zum Beispiel auf den Fenstern, zu vermeiden, wurde mit Polfiltern gearbeitet.

Abb. 143: Bild, Innenhof

5.2.4 Foto-Nachbearbeitung

Bei den Fotografien der Innenräume ist zum Teil die Helligkeit erhöht worden. Es wurde versucht eine möglichst einheitliche Helligkeit zwischen den einzelnen Bildern herzustellen. Durch das Abgleichen des Weißpunktes zwischen den Aufnahmereihen konnten die unterschiedlichen Lichtfarben ausgeglichen werden. Die Fotos der Außenbereiche konnten großteils unbearbeitet verwendet werden.

Abb. 141: Originalbild, Innenraum

Abb. 142: Bearbeitetes Bild, Innenraum

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.2.5 Modellerstellung

Die Modellberechnung erfolgte mit dem Programm `Reality Capture`. Diese Software ist 2019 eine der besten Softwarepakete für Photogrammetrie. Der Vorteil gegenüber anderen Programmen, ist vor allem die Geschwindigkeit. Auch die Erzeugung der Texturen ergibt sehr gute Ergebnisse.

Als erster Schritt werden die Fotografien der einzelnen Abschnitte in das Programm importiert. Nach dem Import sollten einige Einstellungen vorgenommen werden.
Die wichtigsten Einstellungen für die Ermittlung der Kamerastandpunkte sind:

-Maximale Messpunkte pro Megapixel

-Maximale Messpunkte pro Foto

Die ersten beiden Punkte haben einen großen Einfluss auf die Berechnungsdauer und die benötigte Rechnerleistung. Sie müssen gegebenenfalls auf das zur Anwendung kommende System angepasst werden.

-Fotoüberlappung
Dieser Wert beschreibt die Überlappung zwischen den einzelnen Aufnahmen.
`low` bedeutet in Reality Capture, dass ein großer Teil des Bildes zur Berechnung herangezogen wird.

-Detektor Empfindlichkeit
Je nach Oberflächenbeschaffenheit des aufzunehmenden Objektes kann die Empfindlichkeit angepasst werden. Für kontrastreiche Objekte reicht die Einstellung auf `low`.

Alignment Settings	
Max features per mpx	20 000
Max features per image	80 000
Image overlap	Low
Image downscale factor	1
Max feature reprojection error	1.000000
Camera priors	
Enable	True
X	1.000000
Y	1.000000
Z	0.800000
Orientation	1.000000
Draft mode	
Advanced	
Add a reconstruction region after alignment	True
Enable measurements suggestions	True
Force component rematch	False
Background feature detection	False
Background thread priority	Low
Preselector features	20 000
Detector sensitivity	Medium
Merge components only	False
Merge georeferenced components	False
Distortion model	Brown3

Abb. 144: Alignment Einstellungen Reality Capture

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 145: Ansicht, Alignment südlicher Innenhof

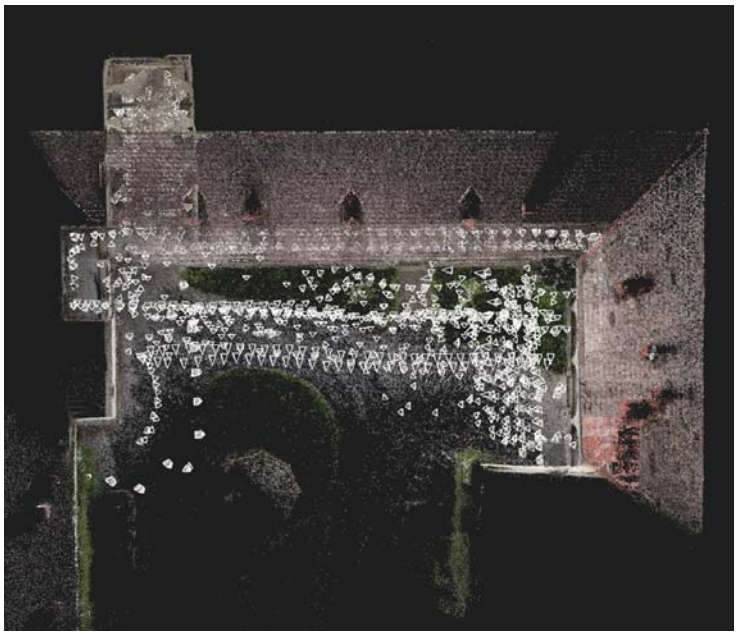


Abb. 147: Grundriss, Alignment südlicher Innenhof

Alignment

Für jeden Abschnitt wurde eine eigene Berechnung durchgeführt. In den Abbildungen wird das Alignment für den Abschnitt 2 dargestellt. Die weißen Pyramiden stellen die Positionen der einzelnen Fotos dar. In diesem Abschnitt wurden rund 1500 Fotos geschossen, einerseits per Hand und andererseits per Drohne. Die Hand- und Drohnefotos wurden zusammen berechnet. Diese Teilberechnung wird in Reality Capture als Komponente bezeichnet. Eine solche Berechnung einzelner Komponenten, dauert meist nur wenige Minuten. Die Berechnung der Kamerapositionen für den auf dieser Seite Abgebildete Abschnitt dauerte in etwa 22 Minuten.

Abb. 146: Perspektive, Alignment südlicher Innenhof

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Alignment Schloss

Abb. 148: Perspektive, Alignment Schloss Waldenfels

Abb. 149: Grundriss, Alignment Schloss Waldenfels

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Alignment Veranstaltungsräume

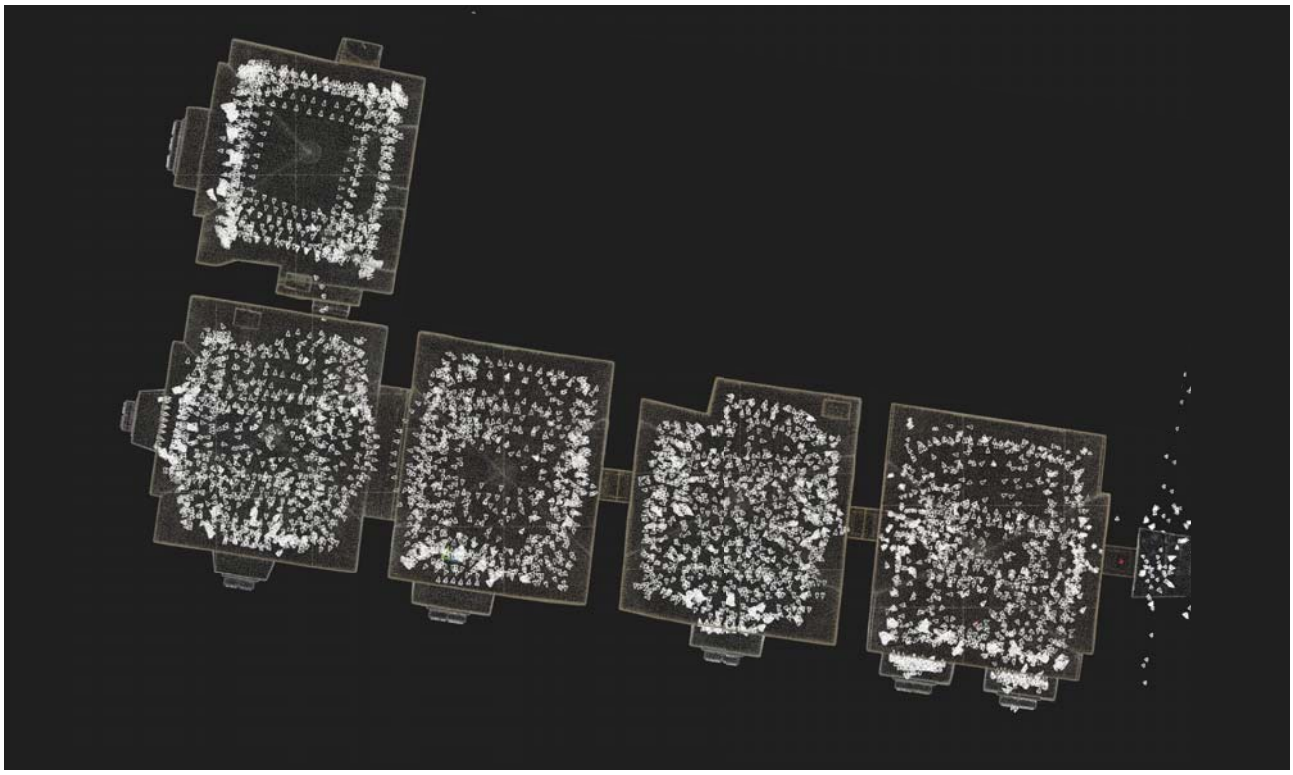


Abb. 150: Grundriss, Alignment Raum 1 - Raum 6

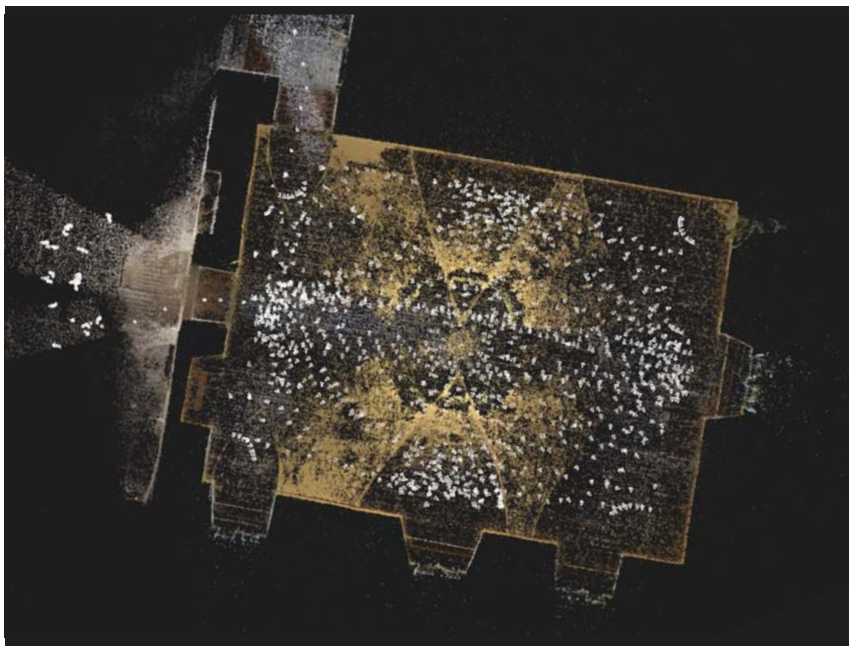


Abb. 151: Grundriss, Alignment Raum 1 - Raum 6

Auch bei den Veranstaltungsräumen wurden die einzelnen Räume separat berechnet und anschließend zusammengefügt. In jedem Raum sind rund 800 Fotos aufgenommen worden. Im Archiv waren es 1600 Bilder. Zusätzlich zu den Raumaufnahmen wurden Detailaufnahmen von Türen Fenstern und Öfen angefertigt. Diese Aufnahme-Sets mussten zum Teil über händisch angegebene Kontrollpunkte verortet werden. Die Berechnungsdauer eines Raumes betrug in etwa 10-15 Minuten. Die Berechnung des Archives rund 30 Minuten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Rekonstruktion

Nachdem alle Abschnitte zusammengefügt sind, kann das Model erzeugt werden. Dies ist ein sehr rechenintensiver Schritt, der einiges an Zeit in Anspruch nehmen kann. Deshalb sollte besonders auf die richtigen Einstellungen geachtet werden. Im Projekt traten einige Probleme bei diesem Schritt auf. Bei den Testdurchläufen wurde nie eine so große Menge an Fotos in einem Modell berechnet. Daher mussten Einstellungen verändert werden.

Reality Capture teilt das Modell automatisch in kleine Segmente. Die Größe der Segmente ist abhängig von der Einstellung der maximalen Anzahl an Punkten pro Segment. Bei kleineren Objekten mit überschaubarer Anzahl an Punkten, kann ein höherer Wert verwendet werden. Dadurch wird die Anzahl der einzelnen Segmente reduziert. Wenn der Wert jedoch zu groß wird, bekommt die Software Probleme in der Berechnung. Der Standardwert beträgt 5 Millionen Punkten pro Segment. Bei der Berechnung des Schlosses wurde versucht, die Anzahl der Segmente durch das Erhöhen des Wertes zu verringern. Dies resultierte jedoch in Problemen in der Berechnung und extremen Rechenzeiten. Bei großen Projekten sollte daher ein Wert von 5 Millionen Punkten eingestellt werden. Durch die geringe Punkteanzahl pro Segment ergab sich eine große Anzahl an Segmenten für Schloss Waldenfels. Das Modell wurde in 1104 Teile aufgesplittet.

Das Resultat der Berechnung ist ein Verbund aus dreidimensionalen Flächennetzen mit einer hohen Polygon-Dichte. Die Außenbereiche des Schlosses werden durch 1.602.419.910 Polygone dargestellt. Die Berechnung des Modells, aus 10.953 Fotos, dauerte 1 Tag und 6 1/2 Stunden.

Die enorme Anzahl an Polygonen muss für eine weitere Bearbeitung reduziert werden. Eine Reduktion auf 25 % ist im Modell kaum merkbar, bedeutet jedoch eine enorme Dezimierung der Datenmengen. Diese Reduktion kann direkt in Reality Capture vorgenommen werden.

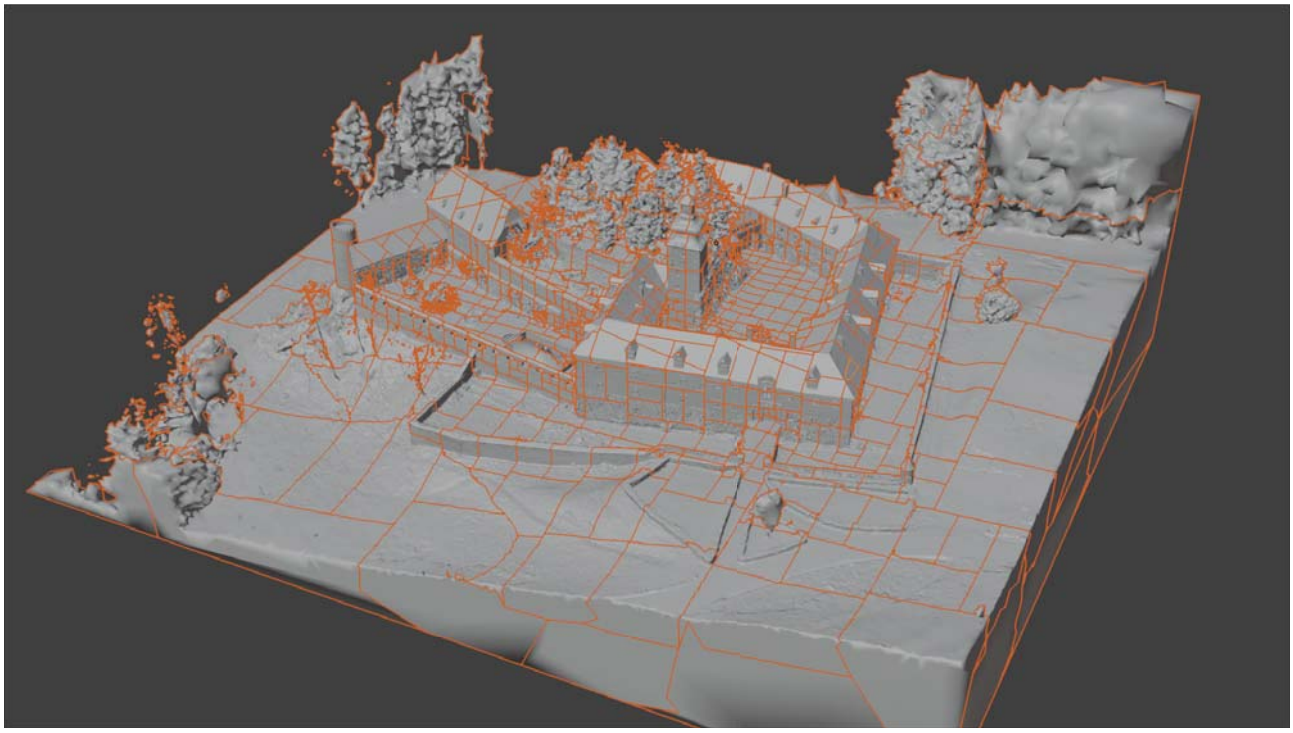


Abb. 152: Generiertes Modell von Schloss Waldenfels

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Für die Rekonstruktion der Innenräume gelten die gleichen Regeln wie für die Außenbereiche. Die Berechnung ergab ein Modell mit 556.402.532 Polygonen und dauerte 12 Stunden und 22 Minuten. Für die Berechnung der Räume wurde ein Wert von maximal 20 Millionen Punkte pro Segment gewählt. Daher wurde das gesamte Modell in nur 40 Teile zerlegt.

Texturierung

Das rekonstruierte Modell kann anschließend in Reality Capture texturiert werden. Für die Außenbereiche wurde eine Maximalanzahl von 500 Texturen, mit einer 4K Auflösung gewählt.

Wenn im Modell Geometriefehler auftreten, sollten diese vor der Texturierung behoben werden. Ansonsten können diese Bereiche Texturfehler aufweisen.

Abb. 153: Waldenfels Modell texturiert

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3 Modell Bearbeitung

5.3.1 Segmentierung

Manuell

Bei der manuellen Aufteilung der Gesamtstruktur in Segmente hat man die größte Kontrolle, aber auch einen dementsprechend großen Zeitaufwand. Diese Methode macht dann Sinn wenn eine ganz bestimmte Aufteilung benötigt wird. Im Fall der Innenräume von Waldenfels könnten die Wände, Gewölbe und Böden voneinander getrennt werden.

Automatisiert

Bei einer automatischen Aufteilung, wie in Reality-Capture wird keine Rücksicht auf die Geometrie des Modells genommen. So können ungünstige Bereiche entstehen. Durch den Einsatz von Skripten kann mehr Kontrolle in der Aufteilung erlangt werden. Egal mit welcher Methode gearbeitet wird, die automatisierte Version ist im Vergleich zur manuellen Methode schneller. Welche Methode zur Anwendung kommt, ist jedoch für jedes Projekt einzeln abzuwiegen.

Abb. 154: Automatisch generiertes Segment

Abb. 155: Manuell aufgeteilter Raum

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Aufteilung in Reality-Capture ergab eine undurchschaubare Reihenfolge der Einzelteile.
Die Außenbereiche wurden nach der Generierung des Modelles nur noch in der Polygonanzahl reduziert, ansonsten wurde keine weitere Bearbeitung durchgeführt. Für die Außenbereiche wurde daher die Aufteilung von Reality Capture übernommen.
Für die Segmentierung der Innenräume wurde ein Mix aus manueller und automatischer Aufteilung angewendet. Eine sinnvolle Aufteilung ist vor allem in Bereichen wichtig, bei denen ein hoher Detailgrad gefordert ist. Ebenso kann durch die Teilung des Objektes, in gleichgroße Segmente, eine einheitliche Qualität der Texturen erreicht werden.
Die erzeugten Teile aus RC, wurden in Blender raumweise zusammengefügt und mittels Script, neu aufgeteilt. Die neue Aufteilung ermöglichte eine Erstellung von in etwa gleich großen Abschnitten.

Für die virtuelle Begehung müssen im späteren Verlauf die Türen mit einer Öffnungsmechanik ausgestattet werden. Deshalb wurden in einem weiteren Schritt die Türen als eigenständige Elemente von der Raumgeometrie getrennt.

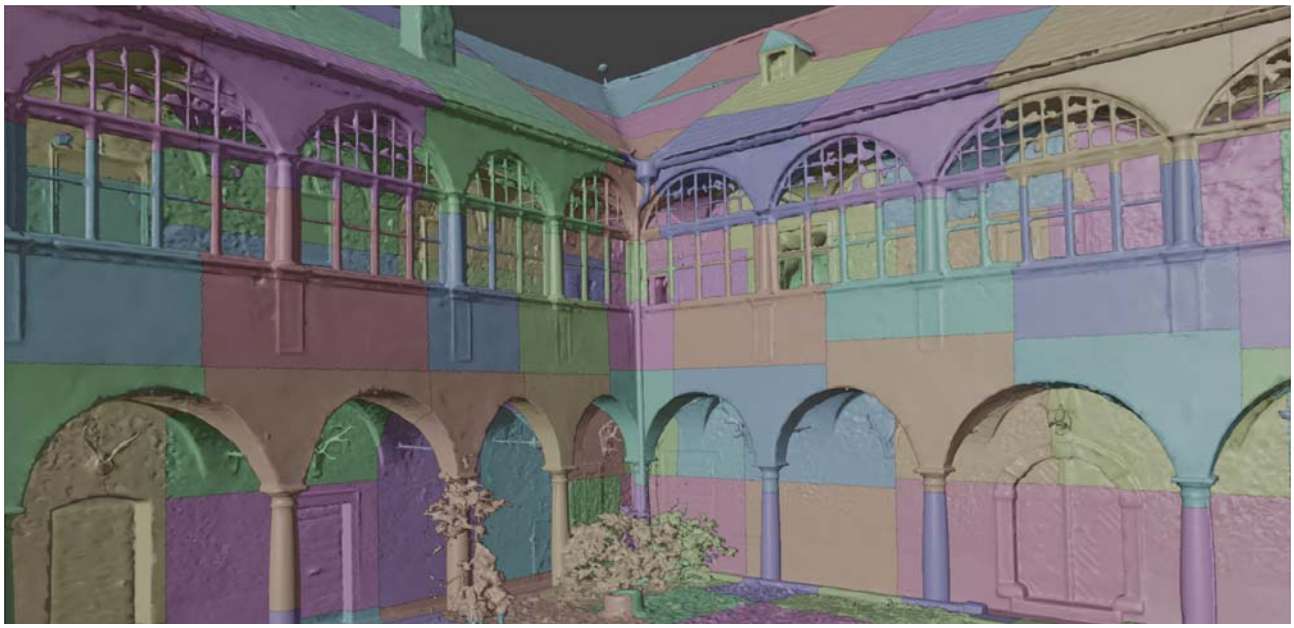


Abb. 156: Aufteilung der Außenbereiche

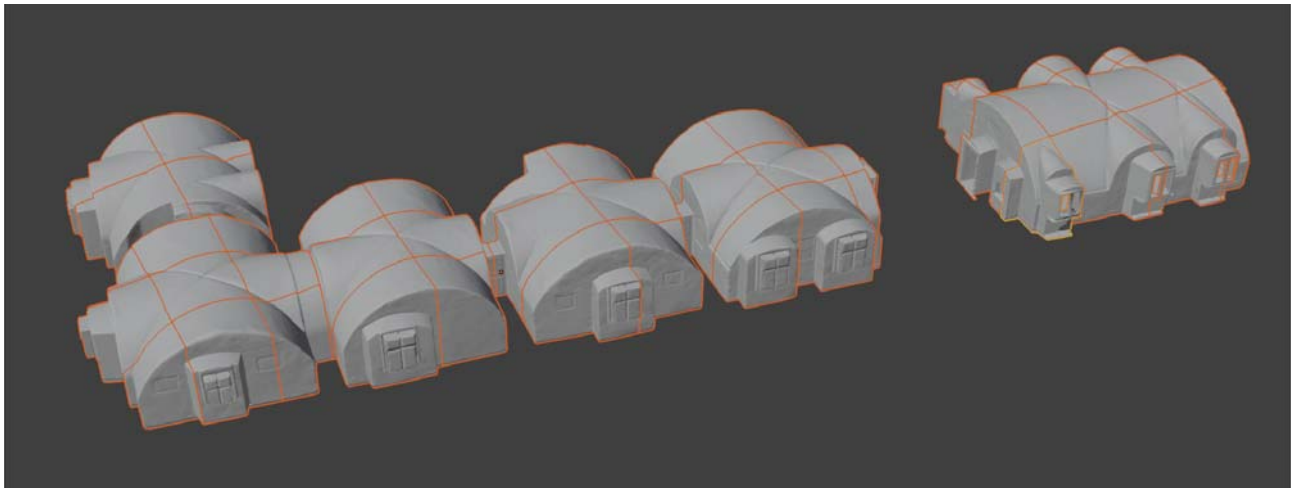


Abb. 157: Aufteilung der Veranstaltungsräume

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3.2 Bereinigung

Die Innenräume wurden in einem hohen Detailgrad aufgenommen. Durch die schwierigen Lichtverhältnisse sind jedoch trotzdem Fehler in der Geometrie aufgetreten. In den seitlichen Abbildungen sind einige Problemstellen dargestellt.

In der rechten Abbildung, ist die Wandoberfläche sehr rau. Diese Stellen traten vor allem dann auf, wenn die Wandoberfläche sehr monoton war.

Abb. 158: Fehlstelle, raue Oberfläche

In der seitlichen Abbildung wird das Modell im Bereich eines Fensters gezeigt. Die Spiegelungen der Fensterscheiben konnten mit dem Einsatz eines Polfilters eliminiert werden. Durch die, auf den Fotos unscharfe Umgebung des Außenbereiches, ergeben sich auf der Außenseite der Fenster trotzdem Geometriefehler.

Abb. 159: Fehlstelle, Fenster

In der rechten Abbildung, ist eine extreme Deformierung der Oberfläche dargestellt. Diese Fehler traten hauptsächlich bei Bereichen auf die nur schlecht zugänglich waren. Zum Beispiel hinter den Öfen.

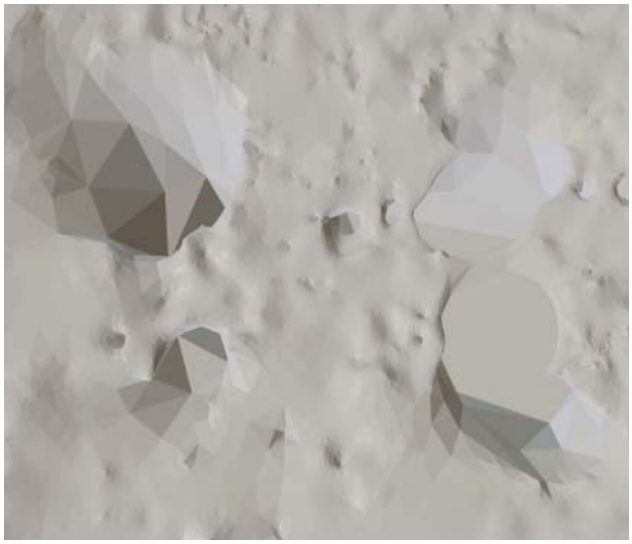


Abb. 160: Fehlstelle, Löcher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3.3 Reduktion des Modells

Die Reduktion der Geometrie kann bereits in Reality-Capture durchgeführt werden. Jedoch sind meist noch in irgendeiner Form Geometriefehler vorhanden. Diese Fehler sollten vor dem Reduzieren der Geometrie behoben werden. Denn nur dann kann die hochauflösende Version des Modells zur Erstellung einer Normal-Map herangezogen werden. Die Auflösung des Polygonnetzes in Reality-Capture ist meist jedoch so hoch, dass eine erste Reduktion direkt nach der Berechnung, auf in etwa 25 %, gemacht werden muss. Dies bewirkt eine deutliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Modellteile.

Abb. 161: Hoch aufgelöstes Modell

Das Exportieren der Teile kann im .ply Format geschehen, denn es werden bei den ersten Schritten noch keine Texturen benötigt. Auch die Dateigrößen sind im Vergleich zum .obj Format viel geringer.
Nach dem Export wurden Fehlstellen der einzelnen Teile behoben. Die gesamte Bearbeitung der Modelle erfolgte in Blender.
Mit den verschiedenen Sculpting-Werkzeugen wurden die rauen Oberflächen geglättet und Löcher geschlossen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die anschließende Reduktion des Flächennetzes wurde in Meschlab durchgeführt. Ein für diesen Zweck geschriebenes Script, führt automatisch die notwendigen Schritte für jedes einzelne Segment durch. Die Reduktion der Geometrie erfolgte schrittweise. In jedem Durchlauf wird die Geometrie um 50 % reduziert. Diese Methode der Reduktion ergab die besten Ergebnisse. Die Polygonanzahl des Mesches aus Reality Capture wurde so auf ca. 3 % reduziert.

Abb. 162: Reduziertes Modell der Innenräume

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3.4 Texturen

Die Erstellung der Texturen für die Farbgebung der Oberfläche erfolgt in Reality Capture.

Die Veranstaltungsräume und der Außenbereich brachen unterschiedliche Detailgrade. Bei den Veranstaltungsräumen ist der Betrachter, bei einer virtuellen Begehung, immer sehr nah an den texturierten Flächen. Daher wird auch eine dementsprechend hohe Auflösung erfordert.
Die in Reality Capture generierten Texturen sind nicht auf einzelne Segmente bezogen. Es werden oft mehrere Texturen für die Farbgebung eines Segmentes herangezogen.
Um eine klare Zuteilung von Textur zu Segment herzustellen, wurden neue Texturen erstellt. Über Texture-Baking ist für jedes Segment eine 4K Diffuse-Textur und eine 4K Normal-Map erstellt worden.

Die hohe Auflösung der Texturen der Innenbereiche kann nur bedingt auf den Außenbereich angewendet werden. Durch die Größe des Schlosses und der daraus resultierenden Anzahl an Elementen muss die Auflösung der Texturen reduziert werden.
Es wurden mehrere Tests mit unterschiedlichen Auflösungen durchgeführt. Am praktikabelsten für dieses Projekt stellte sich eine Auflösung von 1024x1024 Pixel, pro Element, heraus.

Abb. 164: Textur-Layout, Reality Capture

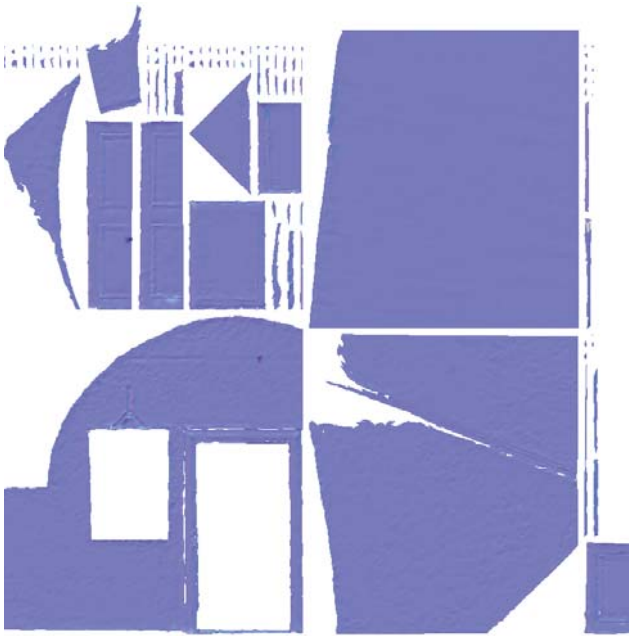


Abb. 163: Textur-Layout, baked Normal-Map

Abb. 165: Textur-Layout, baked Diffuse-Map

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3.5 Statistik zur Bauaufnahme

Abb. 166: Sessel Modell

Abb. 167: Tisch Modell

Abb. 168: Schloss Modell

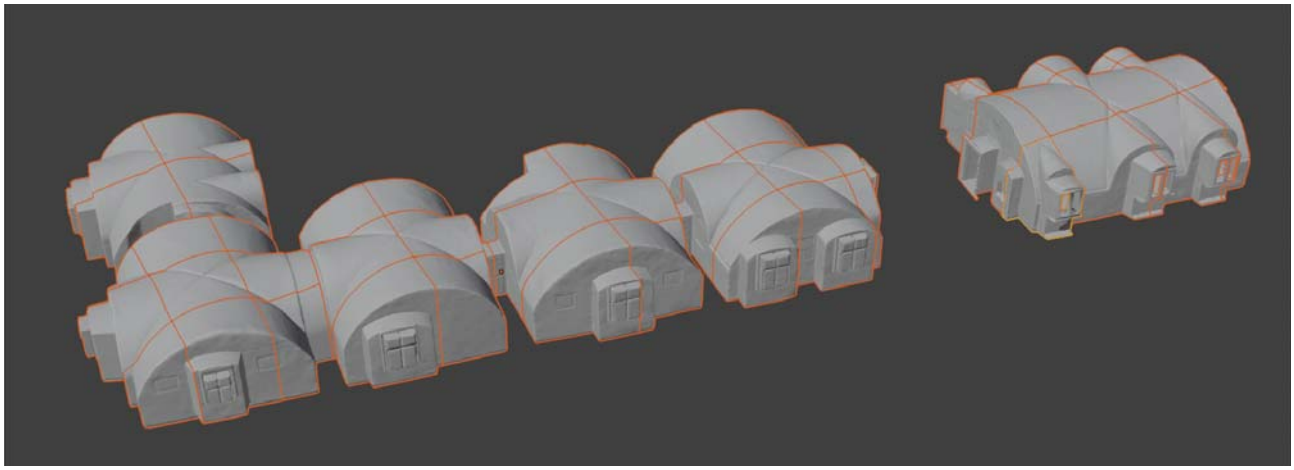


Abb. 169: Räume Modell

		Berechnungszeiten Stunden:Minuten						
Modell	Fotos	Alignment	Modell	Texturen	Gesamt	Polygone	Parts	Texturen
Sessel	29	00:01	00:10	00:03	00:14	6,1 Mio.	1	3 x 4K
Tisch	117	00:01	00:44	00:09	00:54	15,7 Mio.	1	4 x 4K
Alle Räume	9.349	01:44	12:22	04:15	18:21	556,4 Mio.	40	130 x 4K
Raum 1	952	00:06						
Archiv	1.609	00:29						
Schloss	10.935	07:16	30:28	30:09	67:44	1,6 Mrd.	1.104	479 x 4K

Abb. 170: Statistik der photogrammetrischen Berechnung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.3.6 Ergebnisse der Bauaufnahme

Abb. 171: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Treppenturm

Abb. 172: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Treppenturm

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 173: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Wirtschaftstrakt

Abb. 174: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Wirtschaftstrakt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 175: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Südfassade

Abb. 176: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Südfassade

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 177: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Gartenanlage

Abb. 178: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Gartenanlage

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 179: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Innenhof

Abb. 180: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Innenhof

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 181: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Galerie

Abb. 182: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Galerie

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 183: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Arkadengang

Abb. 184: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Arkadengang

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 185: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 1

Abb. 186: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 187: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 3

Abb. 188: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4 Die virtuelle Begehung

Für eine virtuelle Begehung bedarf es eine geeignete Applikation. Eine sehr Anwender freundliches Programm für einen solchen Zweck ist Twinmotion oder Lumion. Mit diesen Programmen können schnell Visualisierungen von 3D-Modellen erstellt werden. Auch eine Besichtigung in VR ist möglich. Diese Applikationen sind jedoch in ihrer Funktionalität eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde für die Präsentation von Schloss Waldenfels eine eigene Applikation erstellt.

Applikation

Das Programm wurde in der Unreal-Engine 4 erzeugt. Es beinhaltet verschiedene Funktionen. In der Applikation können in einem Editor die Szenen bzw. die Veranstaltungen geplant werden. Es ist möglich verschiedene Möbelkonfigurationen in der Schlossszenerie zu platzieren. Die erstellten Szenarien können gespeichert und in späterer Folge wieder geladen werden. Im VR-Modus ist es möglich, die erstellten Szenen in Virtuell-Reality zu begehen.

Integrierte Modelle

Für die Erstellung von Veranstaltungs-Setups ist eine entsprechende Möblierung notwendig. Schloss Waldenfels verfügt bereits über verschiedene Möbelstücke. Einige davon wurden per Photogrammetrie aufgenommen oder nachmodelliert.

In dem erstellten Programm sind diese grundlegenden Modelle enthalten:

-Die Außenbereiche des Schlosses
-Die Veranstaltungsräume
-Animierte Türen
-Sessel
-Tisch 158x90cm
-Tisch 200x90cm
-Tafel 500x155cm
-Tisch Varianten mit Tischtuch
-Stehtisch
-Hocker
-Biertische
-Bierbänke
-Verschiedene Möbelkonfigurationen mit den einzelnen Modellen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

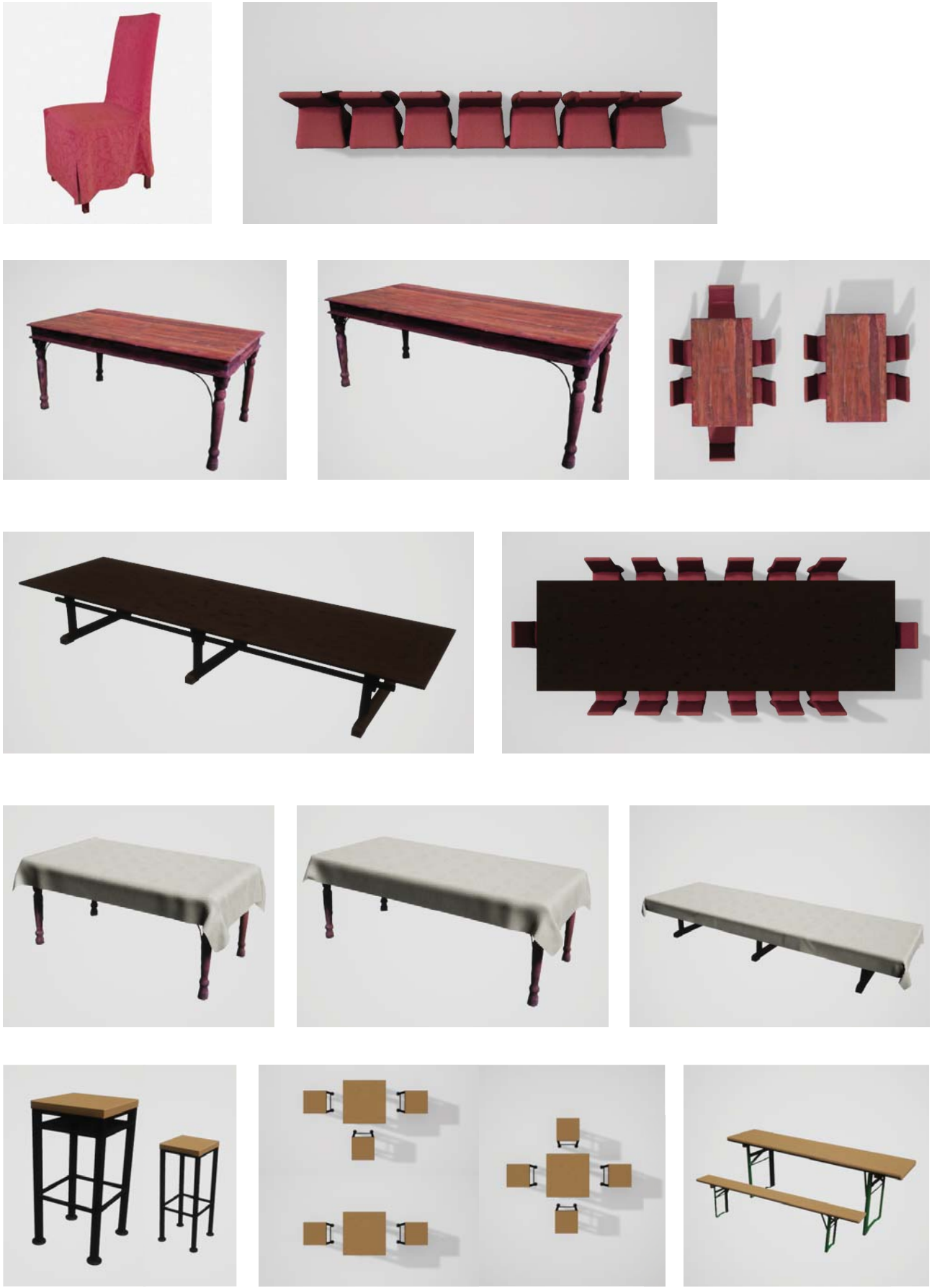


Abb. 189: Auszug aus der in der App integrierten Möbel-Bibliothek

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Materialien in der UE4

Die einzelnen Modelle werden im fbx Formalt importiert. Beim Import werden Standard mäßig für jedes geladene Material auch ein neues Material in der Unrel-Engine erstellt. Dies bringt einige Probleme mit sich. Zum einen ist ein Laden vieler verschiedener Materialien sehr rechenintensiv. Zum anderen ist das Ändern von Materialeigenschaften nicht Material übergreifend möglich. Daher wurden ein Basis-Material erstellt das die grundlegenden Einstellungen enthält. In diesem Material wurden Input-Parameter für die verschiedenen Texturen erstellt.

Beim Import wurde dann für jedes einzelne Modell eine Materialinstanz des Basismaterials erzeugt und zugewiesen. Eine Materialinstanz ist eine Verlinkung zum eigentlichen Material und benötigt weniger Rechenleistung. Die im Basis-Material erstellten Inputs stehen nun in den Materialinstanzen zur Verfügung. Da jedes Modell mit anderen Texturen belegt ist, müssen diese den Materialinstanzen zugewiesen werden. Dieser Arbeitsschritt wurde aufgrund der hohen Anzahl an Modellen, automatisch über ein Python-Script durchgeführt.

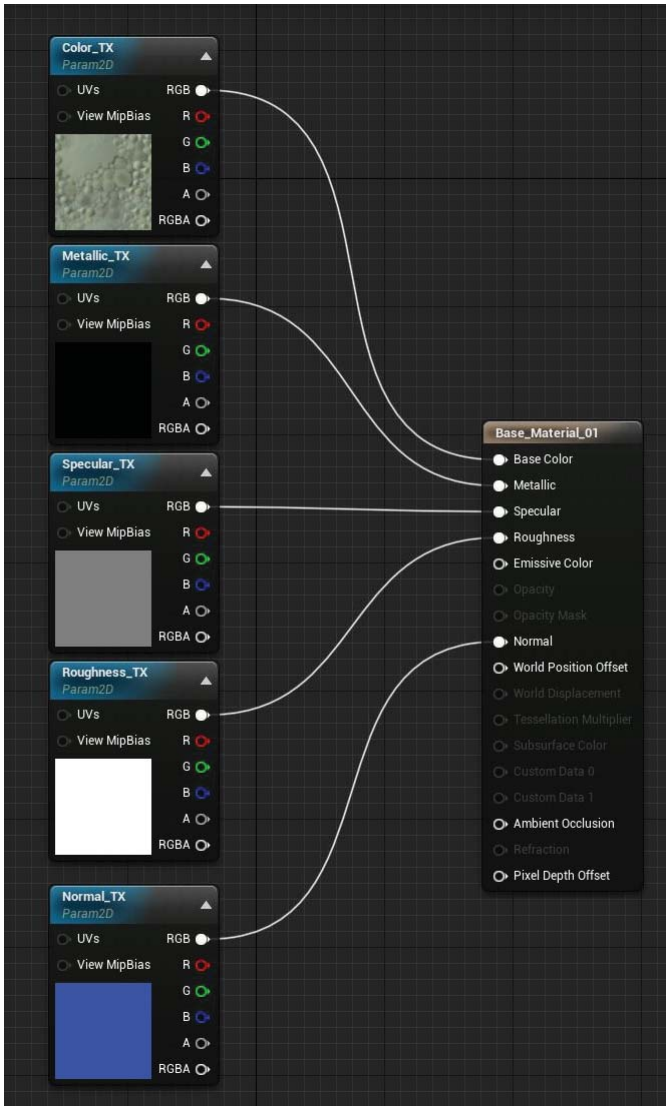


Abb. 190: Material-Nodes für das Basis-Material

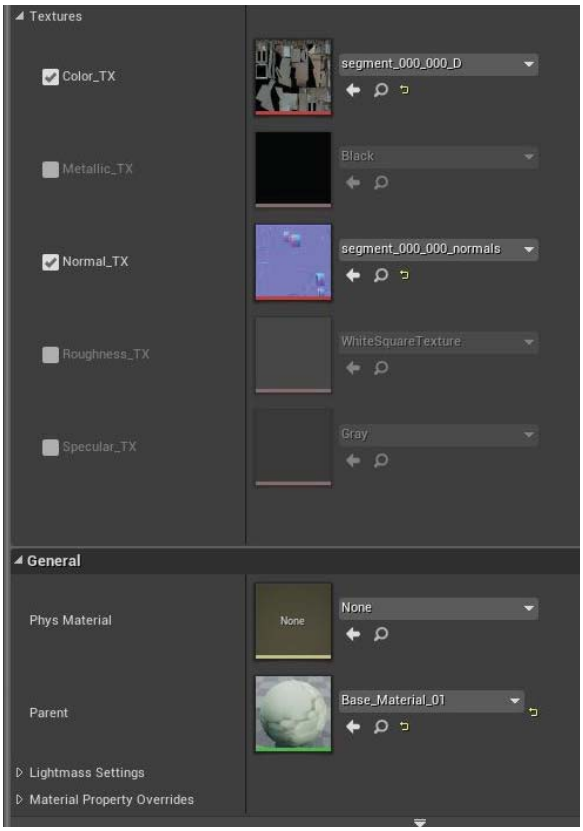


Abb. 191: Inputs der Materialinstanz des Basismaterials

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kollision

Damit man bei der virtuellen Begehung nicht durch Wände und Objekte gehen kann, sind diese Objekte mit einer Kollisionsmechanik versehen. Für die Kollisionsberechnung kann zum einen die eigentliche Geometrie des Objektes verwendet werden. Dies ist in den meisten Fällen jedoch nicht sinnvoll, da eine zu komplexe Geometrie sehr rechenintensiv ist. Zum anderen können vereinfachte Modelle verwendet werden. Die Erstellung dieser Vereinfachungen kann direkt in der Unrel-Engine erfolgen. Bei dieser Methode wird jedoch nur eine konvexe Hülle pro Segment erstellt. Bei Wänden mit Türöffnungen zum Beispiel funktioniert diese Methode nicht. Daher wurde die Kollisionsgeometrie extern in Blender erstellt und zusammen mit dem eigentlichen Modell importiert.

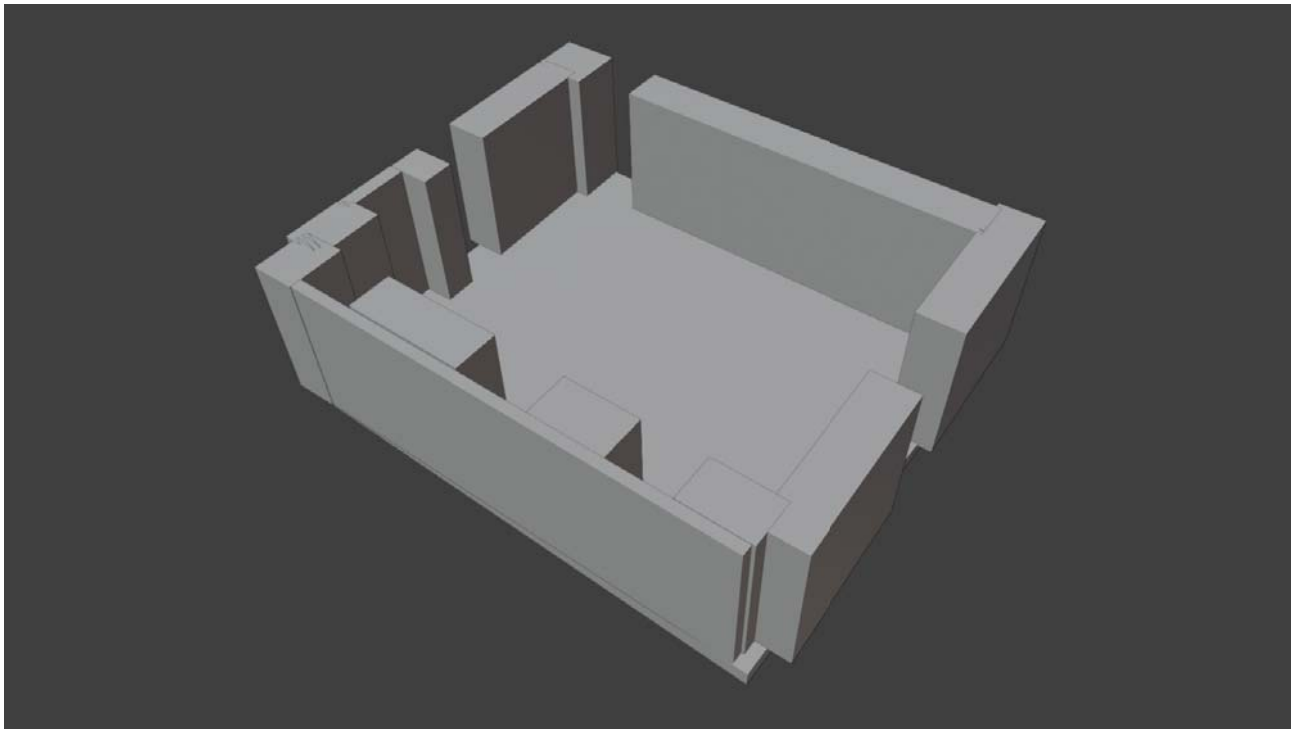


Abb. 192: Kollisionsobjekte für einen Veranstaltungsraum

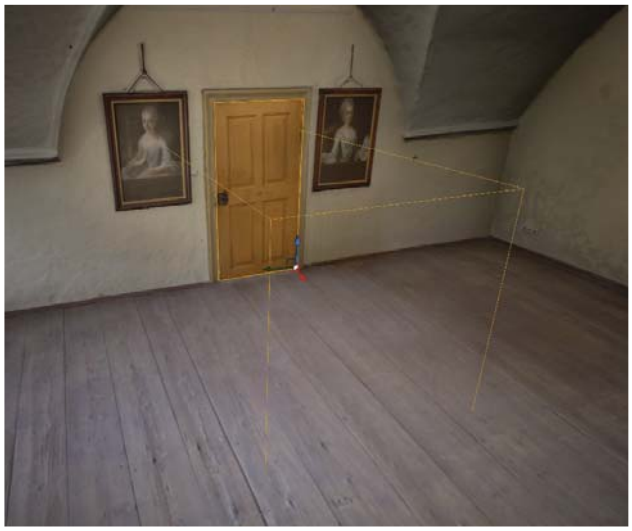


Abb. 193: Trigger-Box für die Auslösung der Türöffnung

Die Öffnungsmechanik der Türen wird über eine Trigger-Box ausgelöst. Wenn der Benutzer bei der virtuellen Begehung diesen Bereich betritt, öffnet sich die Tür.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Licht

Um der Szenerie Atmosphäre zu geben, ist die richtige Beleuchtung entscheidend. Für den Außenbereich wurde eine Kombination aus Sky-Sphere und gerichtetem-Licht verwendet. Eine Sky-Sphere ist vereinfacht gesagt eine Kugel, welche die gesamte Szene umgibt und mit einer HDRI-Textur beleg ist. Alternativ zur Textur kann auch ein prozedural generierter Himmel verwendet werden.
Das gerichtete Licht fungiert in der Szene als Sonne. Die Innenräume werden über einfache Punkt-Lichter ausgeleuchtet. Alle Schatten in der Szene werden in Echtzeit berechnet. Dadurch werden die Schatten der im Editor platzierten Objekte richtig dargestellt.

Abb. 194: Belichtung im Außenbereich

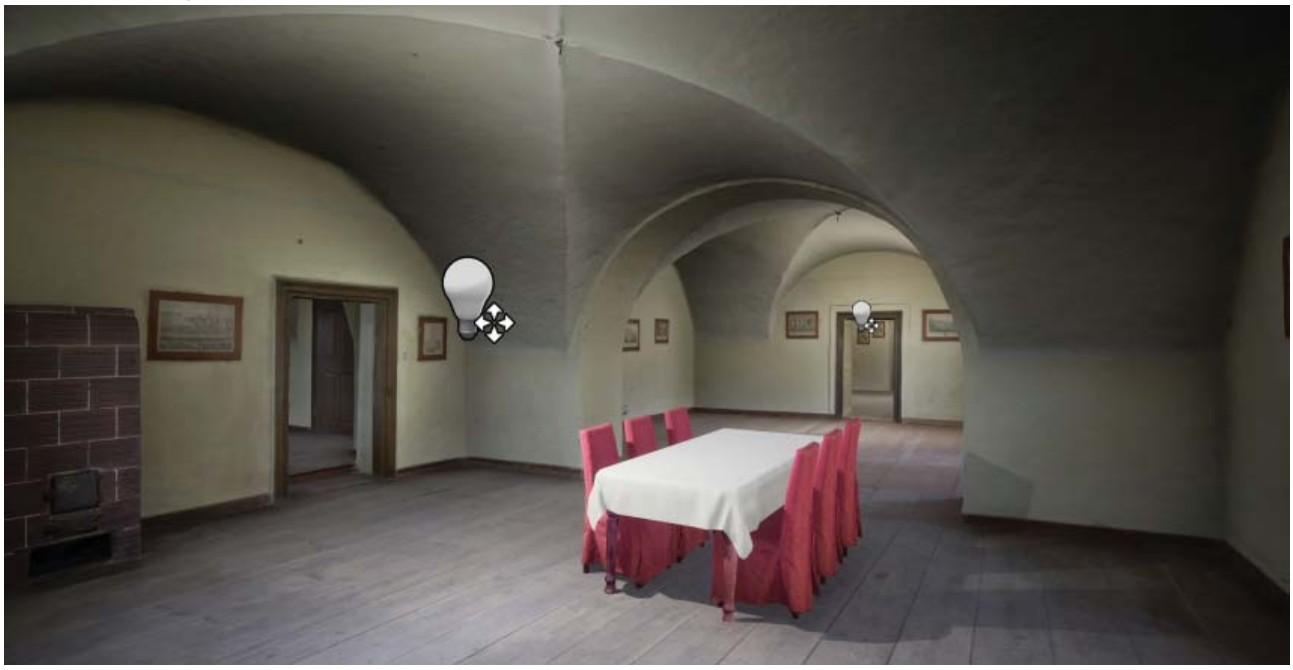


Abb. 195: Belichtung in den Innenräumen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Startmenü

Nach Start der Applikation wird als erstes das Hauptmenü angezeigt. In diesem Menü kann zwischen den verschiedenen Modi gewechselt oder Setups gespeichert beziehungsweise geladen werden.

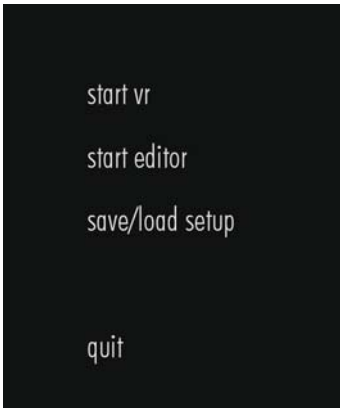


Abb. 196: Hauptmenü

Die Modi

start vr

In diesem Modus können die verschiedenen Bereiche des Schlosses mittels VR-Brille begangen werden.
Nach klicken auf den Text `start vr`, wird ein Untermenü geöffnet. In diesem Menü kann der Benutzer auswählen welchen Bereich des Schlosses er begehen möchte. Wenn im Vorhinein kein gespeichertes Setup geladen wird, werden standardmäßig die Schloss Außenbereiche und die leeren Veranstaltungsräume geladen.
Durch das Bewegen des Kopfes wird wie in der Realität die Perspektive gewechselt. Das Fortbewegen im VR-Modus erfolgt über das Touchpad auf dem Motioncontroller. Bei ausreichend Platz im realen Raum kann die Fortbewegung auch über echte Schritte geschehen. Dabei ist jedoch Vorsicht geboten, denn in der VR verliert man schnell den Bezug zum realen Raum.

Abb. 197: `start vr` Untermenü

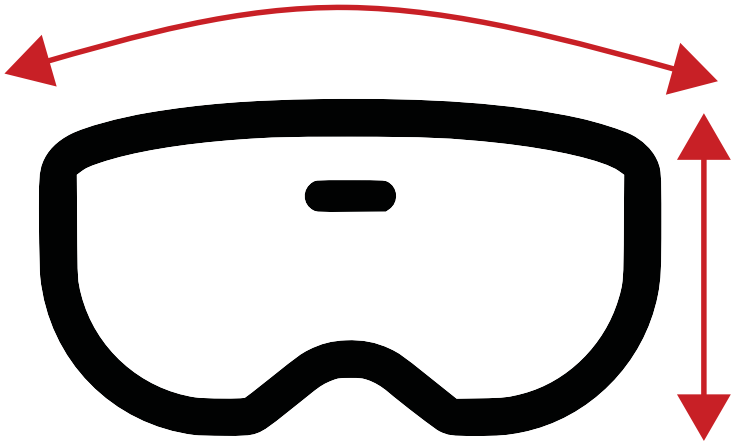


Abb. 198: Bewegung des Kopfes für die Veränderung der Perspektive

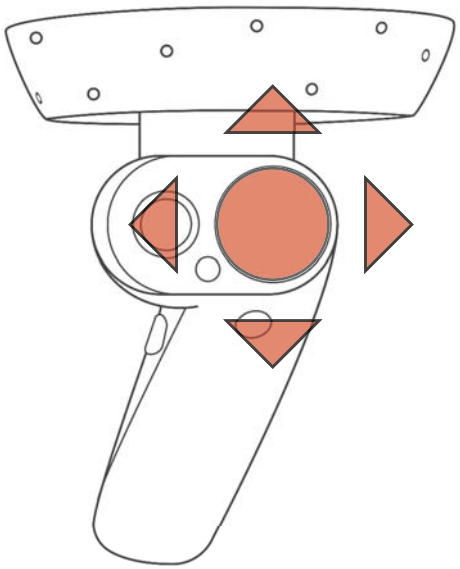
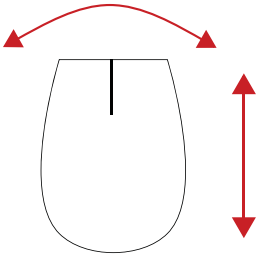


Abb. 199: Motioncontroller, Bewegung über Touchpad

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

start editor

Im Editor Modus können schnell Setups zusammengestellt werden. Die Betrachtung der Szenerie erfolgt über den Bildschirm, Gesteuert wird über Maus und Tastatur.
Durch Drücken der Tasten W,A,S oder D wird die Position im Raum verändert. Durch das Bewegen der Maus kann die Drehung bzw. Richtung angepasst werden. Es besteht keine Gravitation in dieser Szene, deshalb fliegt man durch die Szene. Auch ein Durchfliegen der Wände ist möglich.
Durch Drücken der Taste `TAB` wird die Modell-Bibliothek geöffnet. Die verfügbaren Modelle werden in einer Scrollleiste links im Bild angezeigt. Durch links-Klick mit der Maus auf ein Bild, wird dieses aktiv und an die Mausposition verlinkt.
Durch Drehen des Mausrades kann die Drehung des Objektes verändert werden.
Um das Modell zu platzieren gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen mit einem weiteren links-Klick. Zum anderen mit dem Klick des mittleren Mausknopfes. Dadurch bleibt die Verlinkung des Objektes mit dem Mauscursor bestehend und das Objekt kann erneut platziert werden.
Durch Drücken der Taste `ESC` wird das Hauptmenü geöffnet. Dort kann das erstellte Setup gespeichert werden.



ESC ...Hauptmenü

TAB ...Modell-Bibliothek

Entf ...Modell entfernen

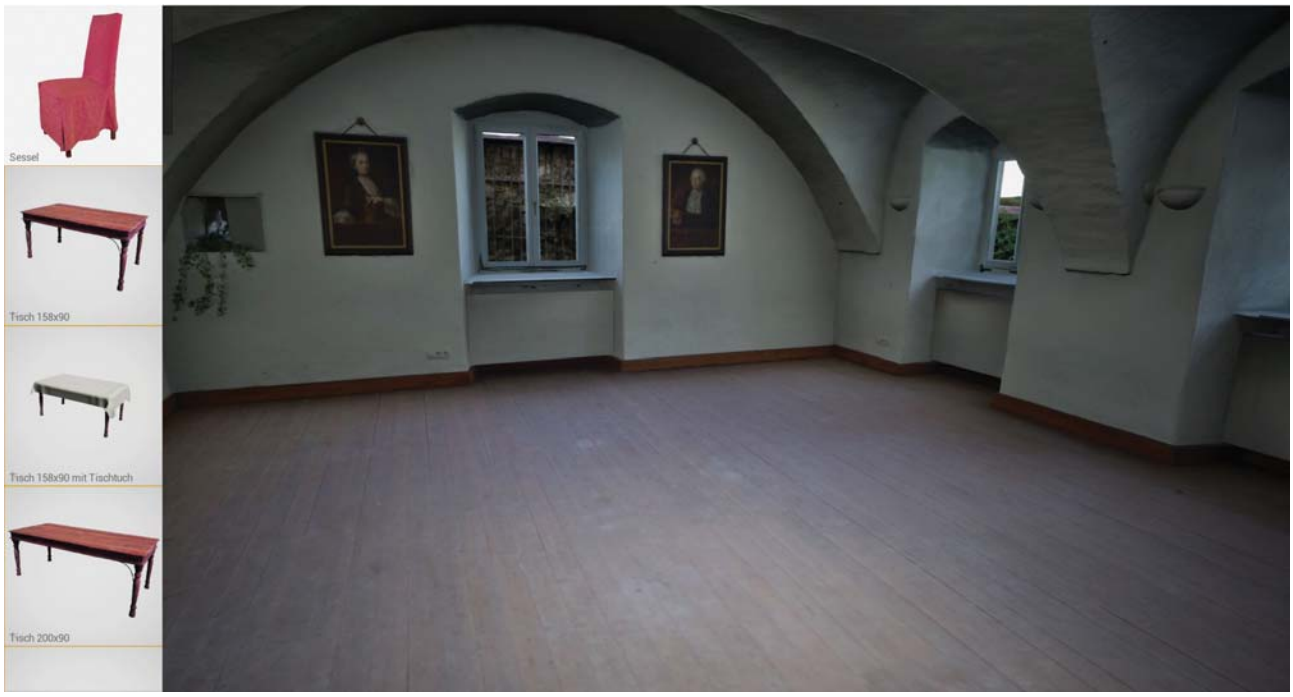
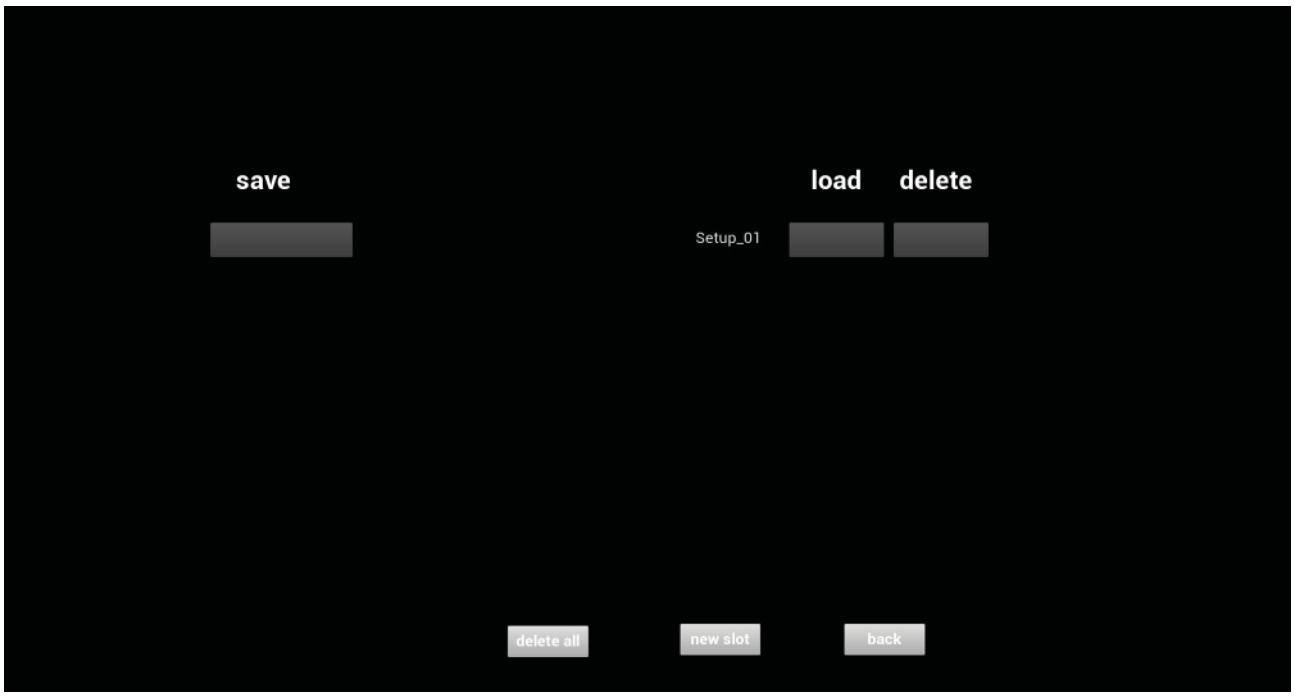


Abb. 201: Modell-Bibliothek im Editor

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

save/load setup

In diesem Menüpunkt können die im Editor erstellten Szenarien verwaltet werden. Über den Button `new slot` kann ein neuer Speicherstand angelegt werden. Im mittleren Feld wird dem Slot ein Name zugewiesen.
Durch das Anklicken des grauen Rechteckes unter `save`, kann das aktuell erstellte Setup im Slot gespeichert werden.
Über die beiden grauen Rechtecke auf der rechten Seite kann ein Slot geladen oder gelöscht werden.
Die Bedienung erfolgt wie in den anderen Menüs per Maus.



quit

Über den Menüpunkt `quit` Kann die Applikation geschlossen werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.1 Schaubilder aus der Applikation

Abb. 202: Schaubild aus VR-Applikation, Veranstaltungsraum 3-4

Abb. 203: Schaubild aus VR-Applikation, Veranstaltungsraum 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 204: Schaubild aus VR-Applikation, Archiv Stuhlreihen

Abb. 205: Schaubild aus VR-Applikation, Archiv Setup für Meeting

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6. Resumé

Die Atmosphäre historischer Räume entsteht oft durch die über Jahrhunderte entstandene Patina, die Materialität und die besonderen Geometrien. Mit der traditionellen 2D-Plandarstellung können diese Qualitäten nicht abgebildet werden. Auch Fotos oder Renderings stellen immer nur einen kleinen Ausschnitt dar. Mit der Methode der Photogrammetrie zur Bestandsaufnahme und Virtueller-Realität als Präsentationsmedium können die Gebäude ortsunabhängig virtuell begangen werden.

Die Bauaufnahme von komplexen und großen Gebäudestrukturen ist in jedem Fall eine Herausforderung. Wenn ein genaues digitales Abbild gefordert ist, kommen nur noch die Methode des Laserscannings oder der Photogrammetrie in Frage. Die Ausrüstung für den Photogrammetrieprozess ist im Gegensatz zu Laserscannern sehr günstig. Daher wäre auch ein Einsatz im Architekturbüro denkbar.

Grundsätzlich ist die Photogrammetrie eine einfache Methode zur Aufnahme verschiedenster Objekte. Je komplexer und größer die Strukturen sind, desto mehr Sorgfalt muss auch in die Planung der Abläufe investiert werden. Die Qualität und Genauigkeit des Resultates hängt vor allem von den aufgenommenen Fotografien ab. Ein hoher Anspruch an Genauigkeit erfordert auch ein entsprechendes Kamerasystem. Für die meisten Anwendungen reichen jedoch handelsübliche Kameras.

Die in dieser Arbeit umgesetzte Bauaufnahme von Schloss Waldenfels zeigt, dass selbst große Gebäude mittels Photogrammetrie aufgenommen werden können. Durch die Größe des Objektes mussten die Aufnahmen in Abschnitte unterteilt werden. Die limitierenden Faktoren für die Größe der Abschnitte war zum einen die Akkukapazität der Drohne und zum anderen die Lichtbedingungen. Für ein gutes Endresultat sollte möglichst diffuses Licht mit wenig Schattenwurf und Kontrasten vorherrschen. Jeder Schatten, der im Foto sichtbar ist, wird in der Folge auch in den Texturen dargestellt. Die Textur besitzt somit eine eigene Lichtstimmung. Wenn Lichtquellen in der virtuellen Szene hinzugefügt werden, erzeugen diese einen neuen Schattenwurf in der Szene. Die in den Texturen integrierten Schattenbereiche passen nicht mehr zur virtuellen Umgebung und die Szene wirkt unrealistisch.

Die Problematik bei der Aufnahme von Abschnitten zu unterschiedlichen Tageszeiten und Wetterlagen ist offensichtlich. Die Fotos haben unterschiedliche Schatten, Kontraste und Farbwerte. Zweiteres kann über den Weißabgleich gut abgeglichen werden. Die unterschiedlichen Helligkeitswerte in den Schatten sind in der Nachbearbeitung kaum in den Griff zu bekommen. Um ein möglichst gleichmäßiges Ergebnis zu erzielen, sollte daher zur gleichen Tageszeit und bei voller Bewölkung gearbeitet werden. Alternativ dazu könnten die Aufnahmen in der Nacht durchgeführt werden. Um die Gebäudeteile gleichmäßig auszuleuchten wird dementsprechendes Beleuchtungsequipment benötigt.

Das Arbeiten im Innenbereich unterscheidet sich grundlegend vom Außenbereich. Das Wetter spielt kaum eine Rolle. Es ist eher die Ausrichtung der Fenster im Raum entscheidend. Durch den Lichteintrag der Öffnungen ist kaum ein gleichmäßig Aufnahmereihe zu erzielen. Die Licht und Schattenwürfe erzeugen bereits eine Lichtstimmung. Deshalb bietet sich das Aufnehmen der Räume bei Dunkelheit an. Es muss in diesem Fall mit künstlicher Beleuchtung gearbeitet werden. Dies hat den Vorteil, dass jeder Lichteintrag ganz gezielt gesetzt werden kann. Im Beispiel der Veranstaltungsräume von Schloss Waldenfels, wurde versucht, ein Lichtsetup in Kombination mit Polfiltern einzusetzen. Bei der Aufnahme der Fenster konnten mit diesem Setup gute Ergebnisse erzielt werden. Über den angebrachten Polfilter wurden die Spiegelungen des eingebrachten Lichts von der Glasoberfläche entfernt und es konnten die aus den Spiegelungen resultierenden Fehlinformationen vermieden werden. So war es möglich, auch die äußeren Rahmen der Kastenfenster aufzunehmen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Eine weitere Schwierigkeit im Innenbereich ist vor allem bei monotonen und glatten Oberflächen, wie sie zum Beispiel an Wänden und farbig lackierten Objekten vorkommen. Die Wände und Gewölbe der Veranstaltungsräume des Schlosses weisen eine raue Oberfläche mit kleinen Schönheitsfehlern auf. An diesen Bereichen kann sich die Software orientieren und Referenzpunkte generieren. Bei den dunkelbraun lackierten Fenstern, Türen und Türstöcken konnte die Software auch nur sehr grobe Oberfläche generieren. Der Grund dafür ist wohl der hohe Kontrast zu den Wandoberflächen und der daraus resultierende kleine Kontrastbereich der in der Kamera für diese dunklen Farbtöne zur Verfügung steht.
Mit derzeitiger Software ist eine Aufnahme von großen Gebäuden mit mehreren Tausend Fotos möglich. Vorausgesetzt die Rechnerleistung ist vorhanden. Ein Rechner mit einer 16 Kern, 3,4 GHz CPU, zwei NVIDIA TITAN V Grafikkarten und einem Arbeitsspeicher von 128 GB hat für die Berechnung des Schlosses rund 68 Stunden benötigt. Die Ergebnisse der Rekonstruktion sind hauptsächlich abhängig von der Qualität und Quantität der eingebrachten Fotografien. Jedoch auch beim Arbeiten mit der Software sind einige Probleme aufgetreten. Bei einem so großen Objekt wie dem bearbeiteten Schloss ist es notwendig, die einzelnen Abschnitte in separaten Komponenten zu berechnen und am Ende zusammen zuführen. Beim Umsetzen dieser Methodik kam es jedoch sehr häufig zu einem stufenförmigen Versatz zwischen einzelnen Abschnitten. Dies ist auf ein Problem beim Alignment zwischen den Komponenten zurückzuführen. Es wurde versucht über neues Alignment die Teile neu zusammenzurechnen, an einer Fassade lies sich der Versatz jedoch nicht entfernen.
Die durch Photogrammetrie erstellten Modelle weißen meist in irgend einer Form Fehlstellen auf. Diese müssen händisch behoben werden.
Für die Reduktion der Modelle gibt es mehrere Möglichkeiten. Es kommt vor allem auf das gewünschte Resultat an. In der Methode, die in dieser Arbeit Anwendung gefunden hat, werden die Details aus dem hoch auflösenden Polygonnetz über Normal-Maps auf der Oberfläche des reduzierten Modells simuliert. So erzielt man ein realistischer erscheinendes Modell, das auch für den Einsatz mit VR eingesetzt werden kann.
Die Automatisierung einiger Arbeitsprozesse durch Skripte ist für so große Projekte essenziell.
Der Einsatz einer Game-Engine im Bereich der Architektur, lohnt sich hauptsächlich für Projekte die einen speziellen Anspruch an eine maßgeschneiderte Funktionalität setzen. Im Fall Schloss Waldenfels wurde eine Applikation entwickelt, die es dem Besitzer möglich macht, Setups für die unterschiedlichsten Veranstaltungen zu erstellen und zu Präsentieren.
Der Aufwand für eine solche Applikation ist als Einzelperson recht hoch. Die unterschiedlichen Disziplinen erfordern einiges an Einarbeitungszeit. Ein Team aus Fachkräften in den einzelnen Disziplinen wäre sinnvoll.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der hier erarbeitete Workflow grundlegend funktioniert. Der gesamte Prozess hat jedoch sehr viel Zeit in Anspruch genommen. Durch die gesammelten Erfahrungen sollten weitere Projekte in kürzerer Zeit möglich sein. Dies zeigt jedoch, dass für die Umsetzung dieses Workflows, eine gewisse Erfahrung in den verschiedenen Bereichen gegeben sein muss.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Für die Zukunft wäre eine autark fliegende Drohne, welche die Aufnahmen für die Photogrammetrie automatisch durchführt, interessant. Denn durch das manuelle Steuern der Drohne war es schwierig, die richtigen Abstände und Aufnahmeabfolgen abzufliegen.
Des Weiteren könnte man an einem mobilen Beleuchtungssystem für die Ausleuchtung von Innenräumen weiter arbeiten. Wünschenswert wäre auch die Bildung eines Teams aus Spezialisten und somit eine gewisse Arbeitsteilung.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Peter Ferschin für die Betreuung dieser Arbeit und das zur Verfügung gestellte Equipment.
Ich bedanke mich bei Dominik Grundemann-Falkenberg für die Möglichkeit, Schloss Waldenfels bearbeiten zu dürfen und für die tollen Aufenthalte während des Projektes.
Ich bedanke mich bei Hannes Kaufmann und Peter Kan für den Support und den Zugang zum GCD-Rechner.
Weiters danke ich Cheng Shi für das zur Verfügung gestellte Lichtequipment.
Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern für die Unterstützung über die gesamte Studienzeit bedanken.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Quellen

ARCHICAVE: [online] https://archicave.de/

Austinat, Roland (2019): Virtual Reality 2019: Wo steht die Branche drei Jahre nach dem großen Hype? [online]. http://www.pcgameshardware.de/Virtual-Reality-Hardware-258542/Specials/Virtual-Reality-2019-1278809/ [01.07.2019]

Bacher, Ernst (Hrsg.)(1995): Alois Riegel und die Denkmalpflege. aus: Riegl, Alois. Bacher, Ernst (Hrsg.) (1995):Kunstwerk oder Denkmal? Alois Riegls Schriften zur Denkmalpflege. Wien, Köln, Weimar

Biocca, Sveva(2017): Die verschiedenen Einsatzgebiete für Virtual Reality (VR) [online]. https://www.androidpit.de/die-verschiedenen-einsatzgebiete-fuer-virtual-reality [08.05.2019]

Birngruber, Klaus (2008): Waldenfels im Mühlviertel. Untersuchungen zur Geschichte der Herrschaft und ihrer Besitzer. In: Mitteilungen des oberösterreichischen Landesarchivs Band 21.

Borrmann, André. König , Markus. Koch, Christian. Beetz, Jakob (Hrsg). (2015): Building Information Modelling, Technologische Grundlagen und Industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Brusaporci, Stefano. Maiezza, Pamela (2016): Re-loading BIM: between spatial and database information modeling for Architectural Heritage dokumentation. In: Drawing, Building, Dreaming. Research on grafic expression applied to building.

Bundesdenkmalamt (2015): Standards der Baudenkmalpflege [online]. https://bda.gv.at/de/publikationen/standards-leitfaeden-richtlinien/ [25.08.2019]

Donath, Dirk (2008): Bauaufnahme und Planung im Bestand. Wiesbaden: Vieweg+Teubner |GWV Fachverlage GmbH.

Dörner, Ralf. Broll, Wolfgang. Grimm, Paul. Jung, Bernhard (Hrsg.)(2013): Virtual und Augmented Reality (VR/AR), Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Günthner, Willibald. Borrmann, André (Hrsg.)(2011): Digitale Baustelleinnovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

ICOMOS (1965): Charta von Venedig, Internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles, Venedig, 25.-31. Mai 1964

Jerabek, Nikolai (2015): Anwendung und Methodik digitaler Photogrammetrie im Arbeitsprozess des Architelkten und Bauingeneurs, Dipl.-Arb., TU-Wien 2015.

Luhmann, Thomas (2018): Nahbereichsphotogrammetrie, Grundlagen-Methoden-Beispiele. Berlin: Wichmann-Verlag.

Meszaros, Markus-Mercurio (2010): Aspekte der modernen Nutzung von Schlossanlagen in Österreich, Gezeigt am Beispiel der Schlösser unter dem Mannhartsberg, Uni. Diss., TU-Wien 2010

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Murphy, Maurice. McGovern, Eugene. Pavia, Sara (2013): Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 76. S.89–102

OIB (2019): OIB-Begriffsbestimmungen Ausgabe April 2019, Österreichisches Institut für Bautechnik

Pottmann, Helmut. Asperl, Andreas. Hofer, Michael. Kilian, Axel (2010): Architekturgeometrie. Wien: Springer-Verlag

Riegl, Alois. Bacher, Ernst (Hrsg.)(1995): Kunstwerk oder Denkmal? Alois Riegls Schriften zur Denkmalpflege. Wien, Köln, Weimar

Schicht, Patrick (2005): Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines – 150: 99 – 168.

SuperData Research Holdings (2018): Virtual Augmented and Mixed Reality Research [online]. https://www.superdataresearch.com/data/?section=virtual-reality [18.06.2018]

Substance 01 (2019): The PBR Guide - Part 1 [online]. https://academy.substance3d.com/courses/the-pbr-guide-part-1 [15.07.2019]

Substance 02 (2019): The PBR Guide - Part 2 [online]. https://academy.substance3d.com/courses/the-pbr-guide-part-2 [15.07.2019]

unity3D: Game-Engines – wie funktionieren sie? [online]. https://unity3d.com/de/what-is-a-game-engine [15.09.2019]

Unreal-Engine: [online] https://www.unrealengine.com/en-US/industries/architecture

VR 01: Funktionsweise VR-Brillen [online]. https://www.brillen-sehhilfen.at/vr-brillen/funktionsweise-vr-brille.php [05.07.2019]

VR 02 : Die Geschichte der virtuellen Realität [online]. https://www.vrnerds.de/die-geschichte-der-virtuellen-realitaet/ [01.04.2019]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Nutzungsaufstellung von Schlössern, basierend auf Meszarios 2010
Abb. 02: Eckdaten zur Auswahl eines Veranstaltungsortes
Abb. 03: Stadtpalais Liechtenstein, Grundriss erstes Geschoss, Palais-Liechtenstein-Gmbh, SPL-Imagefolder, Ausgabe Jänner 2019
Abb. 05: Festung Kufstein, Festungsarena Konzert, http://www.festung.kufstein.at
Abb. 07: Festung Kufstein, Festungsarena, http://www.festung.kufstein.at
Abb. 04: Stadtpalais Liechtenstein, KS Konzertsaal, Palais-Liechtenstein-Gmbh, SPL-Imagefolder, Ausgabe Jänner 2019
Abb. 06: Festung Kufstein, Festungsarena Beschreibung, http://www.festung.kufstein.at
Abb. 08: Schloss Hof, Barockstall leer, https://360perspektiven.com/projekte/schlosshof2018-1/
Abb. 09: Schloss Hof, Barockstall mit Event-Setup, https://360perspektiven.com/projekte/schlosshof2018-1/
Abb. 10: Hofburg Panoramabegehung, Festsaal mit Sesselreihen, https://www.hofburg.com/raeume/orientierung
Abb. 11: Hofburg Panoramabegehung, Festsaal Silvester Ball, https://www.hofburg.com/raeume/orientierung
Abb. 12: Entfernungsmesser
Abb. 13: Computer gestütztes Handaufmaß, Donath Dirk (2008) Bauaufnahme und Planung im Bestand. Wiesbaden: Vieweg+Teubner |GWV Fachverlage GmbH. S 54
Abb. 15: Tachymetrie, Donath Dirk (2008) Bauaufnahme und Planung im Bestand. Wiesbaden: Vieweg+Teubner |GWV Fachverlage GmbH. S 63
Abb. 14: Tachymetrie, leica-geosystems https://leica-geosystems.com/de-at/products/total-stations/manual-total-stations/leica-flexline-ts10
Abb. 16: Laserscanner, leica-geosystems https://leica-geosystems.com/de-at/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360
Abb. 17: Laserscanning Prinzip, Donath Dirk (2008) Bauaufnahme und Planung im Bestand. Wiesbaden: Vieweg+Teubner |GWV Fachverlage GmbH. S 106
Abb. 18: Laserscan, Foto: Jeremy Mitchell http://www.blogsnow.com/wp-content/uploads/2016/09/Laser-Scanning.jpg
Abb. 20: Punktwolke, Pavillon im Pötzleinsdorfer Schloss-Park
Abb. 19: Grundprinzip Photogrammetrie
Abb. 21: Photogrammetrie Ablaufdiagramm
Abb. 22: Albrecht Meydenbauer, Jörg Albertz http://www.theulegium.de/index.php?id=46
Abb. 23: Die erste photogrammetrische Kamera von Meydenbauer, Jörg Albertz http://www.theulegium.de/index.php?id=46
Abb. 24: Stereokomperator nach Pulfrich (Zeiss, ab 1901), Luhmann Thomas (2018) Nahbereichsphotogrammetrie, Grundlagen-Methoden-Beispiele. Berlin: Wichmann-Verlag. S 41
Abb. 25: Photogrammetrie Open-Source Programm Colmap
Abb. 26: Photogrammetrie Programm Reality-Capture
Abb. 29: Unfallaufnahme, Jens Petersen http://www.unfallaufnahme.info/content/photogrammetrie/phidias/
Abb. 30: Gltscheranalyse, IPF https://tu-dresden.de/bu/umwelt/geo/ipf/photogrammetrie/forschung/forschungsprojekte/gletscher
Abb. 28: 3D-Modell des Forums in Pompeji, Research Gate https://www.researchgate.net/figure/3D-modeling-results-of-the-complex-archaeological-site-of-the-forum-in-Pompeii-Italy_fig4_228617407
Abb. 27: Kirchenvermessung, jalasca https://jalasca.de/projekte/vermessung-kirche/
Abb. 31: Überlappung der Aufnahmen
Abb. 32: Ideale Aufnahme
Abb. 33: Optimale Aufnahmeanordnung
Abb. 34: Reduzierte Aufnahmeanordnung
Abb. 35: Sensorformate
Abb. 38: Standard Modi für den automatischen Drohnenflug, Pix4D https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture
Abb. 36: Polygon Modus, Pix4D https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture
Abb. 37: Automatischer Drohnenflug, Pix4D https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture
Abb. 39: Flugplanung für Fassade, DrohnHarmony https://droneharmony.com/pdfs/Drone%20Harmony%20User%20Guide.pdf
Abb. 40: Flugplanung eines Gebäudes, DrohnHarmony https://droneharmony.com/pdfs/Drone%20Harmony%20User%20Guide.pdf
Abb. 41: Kamerapositionen, Statue im Pötzleinsdorfer-Schlosspark
Abb. 42: Dichte Punktwolke, Statue Pötzleinsdorfer-Schlosspark
Abb. 45: Flächennetz, Statue Pötzleinsdorfer-Schlosspark

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 43: Polygon
Abb. 44: Mesh in schattierter Darstellung
Abb. 46: UV-Map eines Würfels
Abb. 47: Mesh mit Textur
Abb. 48: Mesh mit Punktfarben
Abb. 49: Cinerama
Abb. 50: Sketchpad https://www.computerhistory.org/timeline/1963/#169ebbe2ad45559efbc6eb35720946cc
Abb. 51: erstes Head Mounted Display https://augmentedreality-hebrontsa17.neocities.org/History%20and%20Present%20of%20Augmented%20Reality.html
Abb. 52: Video Place https://augmentedreality-hebrontsa17.neocities.org/History%20and%20Present%20of%20Augmented%20Reality.html
Abb. 53: VIVID, NASA http://warrenrobinett.com/nasa/index.html
Abb. 54: HTC-VIVE https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/
Abb. 55: Oculus-Rift S, Oculus https://www.oculus.com/rift-s/
Abb. 56: Pimax 5K XR, Pimax https://pimaxvr.com/products/5k-xr-vr-headset
Abb. 57: Stereoskopisches Sehen
Abb. 58: VR Phobiebekämpfung, https://wien.orf.at/v2/news/stories/2893890/
Abb. 59: Virtuelle Operation, https://codefluegel.com/de/virtuelle-medizin-vr-und-ar-im-klinischen-bereich/
Abb. 60: Google Tilt Brush, https://haptic.al/tilt-brush-like-applications-3358965b3932
Abb. 61: Sportevents in VR, https://www.omnivirt.com/blog/virtual-reality-sports-examples/
Abb. 63: Virtuelle Begehung mit 360° Panoramabildern, Swissinteractive https://www.swissinteractive.ch/referenzen/virtual-reality-ar/
Abb. 62: Steelcase Multidisplay-Setup, Unreal-Engine https://www.unrealengine.com/en-US/industries/architecture
Abb. 66: Virtuelle Begehung im Schauraum 1, ARCHICAVE https://archicave.de/
Abb. 64: Schauraum-Setup, ARCHICAVE https://archicave.de/
Abb. 65: Virtuelle Begehung im Schauraum, ARCHICAVE https://archicave.de/
Abb. 68: Virtuelle Begehung mit Bewegungstracking, Hoersch & Hennrich Architekten http://www.hoersch-hennrich.de/index.php?/albums/vr-2/
Abb. 67: Virtuelle Begehung, Autodesk https://adsknews.autodesk.com/media-resources/autodesk-vr-center-excellence-munich-3/vr-center-6k-0478
Abb. 69: Virtuelle Meetings, Trezi https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/meet-trezi-the-vr-first-architectural-design-visualization-and-collaboration-platform
Abb. 70: Geometriefehler
Abb. 72: Raue Stellen
Abb. 71: Abgelöste Geometrie
Abb. 73: LOD_0, 6.777.833 Polygone
Abb. 76: LOD_3, 211.797 Polygone
Abb. 74: LOD_1, 847.205 Polygone
Abb. 77: LOD_4, 105.891 Polygone
Abb. 75: LOD_2, 423.606 Polygone
Abb. 78: LOD_5, 13.677 Polygone
Abb. 79: Materialeigenschaften, nach Substance 01
Abb. 80: Fresnel-Effekt
Abb. 81: Metalloberfläche, 0 Roughness
Abb. 82: Metalloberfläche, 0,3 Roughness
Abb. 83: Kachelbare Textur 2x2, Volcanic Rock von textures.com
Abb. 84: Einzigartige Textur
Abb. 85: Albedo-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com
Abb. 86: Metal-Textur, rein Schwarz für nicht metallisch
Abb. 87: AO-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com
Abb. 88: Roughness-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com
Abb. 89: Normal-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com
Abb. 90: Displacement-Textur, Rustic Brick Wall von textures.com
Abb. 91: Lumion Oberfläche, Lumion https://www.lumion3d.de/neues
Abb. 92: Twinnmotion Oberfläche
Abb. 93: Unreal-Engine 4 Editor
Abb. 94: Datasmith Importer, Unreal-Engine 4, https://docs.unrealengine.com/en-US/Studio/Datasmith/Overview/index.html
Abb. 95: Blueprint, Unreal-Engine 4
Abb. 96: Templates, Unreal-Engine 4
Abb. 97: VR-Template, Unreal-Engine 4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 98: Lage in Österreich
Abb. 99: Lageplan
Abb. 100: Waldenfels Luftbild
Abb. 101: Waldenfels, Markus Hauser www.burgenkunde.at
Abb. 102: Übersichtsplan, Schloss Waldenfels, Amt der OÖ. Landesregierung
Abb. 104: Grundriss, Wohnturm Mitte des 14. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 103: Wohnturm Mitte des 14. Jh., Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 105: Wohnturm Ausbau Ende des 14. Jh., Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, , S 131- 132
Abb. 107: Grundriss, Wohnturm Ausbau Ende des 14. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 106: Wohnturm Ringmauer Ende des 14. Jh., Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 109: Grundriss, Unterburg Anfang des 16. Jh. und Gerichtsbau Mitte des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 108: Waldenfels Anfang des 16. Jh., Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 110: Grundriss, Wohntrakt Mitte des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 111: Waldenfels Ende des 16. Jh., Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 112: Grundriss, Ställe Ende des 16. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 113: Grundriss, Sala Terrena und vorgesetzter Garten Mitte des 17. Jh., Basierend auf Schicht Patrick 2005: Schloss Waldenfels im Mühlviertel. Studien zur Baugeschichte. In: Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, S 131- 132
Abb. 114: Grundriss 1.OG, Schloss Waldenfels
Abb. 115: Grundriss EG, Schloss Waldenfels
Abb. 116: Grundriss EG, Veranstaltungsräume
Abb. 117: Musiksommer 2019, Peter Ferschin
Abb. 119: Hochzeit Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels, http://www.waldenfels.at/Hochzeit.html
Abb. 120: Nordcup 2018 Waldenfels, Bogensport Waldenfels https://www.waldenfels.info/fotogalerie/
Abb. 118: Musiksommer 2019, Dominik Grundemann-Falkenberg, https://www.tips.at/nachrichten/reichenthal/kultur/475609-waldenfelser-musiksommer-2019
Abb. 121: Seminar Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels, http://www.waldenfels.at/Seminare.html
Abb. 122: Feste Schloss Waldenfels, Homepage Schloss Waldenfels, http://www.waldenfels.at/Veranstaltungen.html
Abb. 123: Ablaufdiagramm Photogrammetrie bis VR-Applikation
Abb. 124: 3D-Modell Schloss Waldenfels, Resultat aus den Testaufnahmen
Abb. 125: Texturfehler durch bewegte Objekte
Abb. 126: 3D-Modell des Arkadenganges, zu wenig Fotos
Abb. 127: Geometriefehler durch Spiegelungen im Fensterglas
Abb. 128: Überbelichtung im Bereich der Lampen
Abb. 129: Geometriefehler an den Fenstern
Abb. 130: Aufteilung des Außenbereiches
Abb. 131: Grundriss 1.OG, Galerie, M 1:500
Abb. 132: Grundriss EG, Veranstaltungsräume, M 1:2000
Abb. 133: Grundriss EG, Veranstaltungsräume, M 1:500
Abb. 134: Draufsicht einer Wandecke, horizontale Abstände mit 80% Überlappung für Olympus OMD EM-10 II
Abb. 136: Draufsicht einer Wandecke, Aufnahme einer Ecke für Olympus OMD EM-10 II
Abb. 135: Seitenansicht, vertikale Abstände mit 80% Überlappung für Olympus OMD EM-10 II
Abb. 137: UAV Gitterflug, Nord-Süd
Abb. 138: UAV Gitterflug, West-Ost
Abb. 139: UAV Kreisbahn
Abb. 140: UAV-Aufnahmen mit DJI-Phantom 4 PRO, Schloss Waldenfels
Abb. 143: Bild, Innenhof
Abb. 141: Originalbild, Innenraum
Abb. 142: Bearbeitetes Bild, Innenraum

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Abb. 144: Alignment Einstellungen Reality Capture
Abb. 145: Ansicht, Alignment südlicher Innenhof
Abb. 147: Grundriss, Alignment südlicher Innenhof
Abb. 146: Perspektive, Alignment südlicher Innenhof
Abb. 148: Perspektive, Alignment Schloss Waldenfels
Abb. 149: Grundriss, Alignment Schloss Waldenfels
Abb. 150: Grundriss, Alignment Raum 1 - Raum 6
Abb. 151: Grundriss, Alignment Raum 1 - Raum 6
Abb. 152: Generiertes Modell von Schloss Waldenfels
Abb. 153: Waldenfels Modell texturiert
Abb. 154: Automatisch generiertes Segment
Abb. 155: Manuell aufgeteilter Raum
Abb. 156: Aufteilung der Außenbereiche
Abb. 157: Aufteilung der Veranstaltungsräume
Abb. 158: Fehlstelle, raue Oberfläche
Abb. 159: Fehlstelle, Fenster
Abb. 160: Fehlstelle, Löcher
Abb. 161: Hoch aufgelöstes Modell
Abb. 162: Reduziertes Modell der Innenräume
Abb. 163: Textur-Layout, baked Normal-Map
Abb. 164: Textur-Layout, Reality Capture
Abb. 165: Textur-Layout, baked Diffuse-Map
Abb. 166: Sessel Modell
Abb. 167: Tisch Modell
Abb. 169: Räume Modell
Abb. 170: Statistik der photogrammetrischen Berechnung
Abb. 168: Schloss Modell
Abb. 171: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Treppenturm
Abb. 172: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Treppenturm
Abb. 173: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Wirtschaftstrakt
Abb. 174: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Wirtschaftstrakt
Abb. 175: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Südfassade
Abb. 176: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Südfassade
Abb. 177: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Gartenanlage
Abb. 178: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Gartenanlage
Abb. 179: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Innenhof
Abb. 180: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Innenhof
Abb. 181: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Galerie
Abb. 182: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Galerie
Abb. 183: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Arkadengang
Abb. 184: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Arkadengang
Abb. 185: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 1
Abb. 186: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 1
Abb. 187: Schattiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 3
Abb. 188: Texturiertes Modell, Schloss Waldenfels Veranstaltungsraum 3
Abb. 189: Auszug aus der in der App integrierten Möbel-Bibliothek
Abb. 190: Material-Nodes für das Basis-Material
Abb. 191: Inputs der Materialinstanz des Basismaterials
Abb. 192: Kollisionsobjekte für einen Veranstaltungsraum
Abb. 193: Trigger-Box für die Auslösung der Türöffnung
Abb. 194: Belichtung im Außenbereich
Abb. 195: Belichtung in den Innenräumen
Abb. 198: Bewegung des Kopfes für die Veränderung der Perspektive
Abb. 199: Motioncontroller, Bewegung über Touchpad
Abb. 196: Hauptmenü
Abb. 197: `start vr` Untermenü
Abb. 201: Modell-Bibliothek im Editor
Abb. 202: Schaubild aus VR-Applikation, Veranstaltungsraum 3-4
Abb. 203: Schaubild aus VR-Applikation, Veranstaltungsraum 1
Abb. 204: Schaubild aus VR-Applikation, Archiv Stuhlreihen
Abb. 205: Schaubild aus VR-Applikation, Archiv Setup für Meeting

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub